

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

ROBERTA ALVES

MODELO MATEMÁTICO PARA SELEÇÃO DE ROTAS DE
PATRULHAMENTO ESCOLAR: O CASO DA PATRULHA ESCOLAR
DE PONTA GROSSA

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2015

ROBERTA ALVES

**MODELO MATEMÁTICO PARA SELEÇÃO DE ROTAS DE
PATRULHAMENTO ESCOLAR: O CASO DA PATRULHA ESCOLAR
DE PONTA GROSSA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Colmenero.

PONTA GROSSA

2015

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa
n.08/15

A474 Alves, Roberta

Modelo matemático para seleção de rotas de patrulhamento escolar: o caso da
patrulha escolar de Ponta Grossa. / Roberta Alves. -- Ponta Grossa, 2015.
70 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Colmenero

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Ponta Grossa, 2015.

1. Patrulhamento policial. 2. Violência na escola. 3. Modelos matemáticos. I.
Colmenero, João Carlos. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III.
Título.

CDD 670.42



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação Nº

**MODELO MATEMÁTICO PARA SELEÇÃO DE ROTAS DE PATRULHAMENTO
ESCOLAR: O CASO DA PATRULHA ESCOLAR DE PONTA GROSSA**

Por

Roberta Alves

Esta dissertação foi apresentada às **14 horas** de **10 de fevereiro de 2015** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo citados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Ubiratã Tortato (PUC-PR)

**Prof. Dr. Flavio Trojan
(UTFPR)**

Prof. Dr. Aldo Braghini Junior (UTFPR)

Prof. Dr. João Carlos Colmenero (UTFPR)
- Orientador

Visto do coordenador

Prof. Dr. Aldo Braghini Junior (UTFPR)
Coordenador PPGEP

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NO DEPARTAMENTO DE
REGISTROS ACADÊMICOS DA UTFPR –CÂMPUS PONTA GROSSA

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Sebastião Julião Alves e Maria Alves pelo
apoio em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela sua presença intensa em minha vida e por todas as bênçãos alcançadas.

Agradeço a minha família, pela compreensão de minha ausência e pelo apoio nos momentos difíceis de realização deste trabalho, em especial meus Pais pelo amor a mim dedicado.

Agradeço a todos os professores que contribuíram com minha formação, em especial ao meu orientador prof. Dr. João Carlos Colmenero, pela orientação e, sobretudo, pela oportunidade de desenvolvimento profissional e aprendizado.

Deixo meu sincero agradecimento aos profissionais do Programa de Patrulha escolar comunitária por autorizarem a pesquisa e colaborarem para essa.

Aos meus amigos, como sempre me apoiando e me tranquilizando em momentos de incertezas e entendendo minha ausência.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

Agradeço à UTFPR, em especial, ao programa de pós-graduação em Engenharia de produção, pela oportunidade de realizar meu mestrado.

A persistência é o menor caminho para o êxito.
(Charles Chaplin)

RESUMO

ALVES, Roberta. **Modelo matemático para seleção de rotas de patrulhamento escolar**: o caso da patrulha escolar de Ponta Grossa. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2015.

Estudos mostram que a violência nas escolas resulta em consequências prejudiciais para as vítimas e para a sociedade. Entre os principais meios de prevenção da violência escolar tem-se o patrulhamento policial como o mais efetivo. O patrulhamento policial escolar é realizado por viaturas policiais que atendem a uma rede de escolas e consiste na manutenção das viaturas em cada escola da rede por um determinado período de tempo (patrulhamento de rotina). Contudo, durante o patrulhamento de rotina, as viaturas devem prestar atendimento imediato a chamadas de emergência em escolas da rede que não estejam sendo patrulhadas naquele momento (patrulhamento emergencial). O presente trabalho propõe um método baseado em modelos matemáticos para auxiliar o programa de patrulha escolar na definição das rotas de patrulhamento de rotina e rotas emergenciais. A abordagem aplicada para resolver o problema foi a de algoritmos de grafos. O patrulhamento de rotina foi por meio do Problema do caixeiro viajante e solucionado por meio da heurística do vizinho mais próximo e da meta-heurística de Busca tabu. A situação de emergência foi modelada utilizando o Caminho mais curto e as rotas emergenciais foram determinadas por meio do algoritmo de Floyd-Warshall. Um estudo de caso em uma rede de escolas foi utilizado para demonstrar a utilização do método. Os resultados mostram que o método proposto é efetivo para tratar o problema de seleção de rotas de patrulhamento escolar em cidades com restrições de recursos tecnológicos.

Palavras-Chaves: Patrulha escolar. Violência escolar. Floyd-Warshall. Vizinho mais próximo. Busca tabu.

ABSTRACT

ALVES, Roberta. **Mathematical model for selection of school patrol routes:** the case of school patrol Ponta Grossa. 2015. 70 p. Master Degree in Production Engineering) - Post Graduation Program in Production Engineering. Federal University of Technology - Paraná. Ponta Grossa, 2015.

Studies have shown that school violence produces harmful effects on victims and society alike. Police patrols have proved to be the most effective among the main forms of preventing school violence. School police patrols take place using squad cars that serve a network of schools and consist of placing vehicles at network schools for a given period of time (routine patrol). Nevertheless, during routine patrol police vehicles must immediately answer emergency calls at network schools that are not being patrolled at that moment (emergency patrolling). This work proposes a method based on mathematical models to assist the school patrol program in defining the routes for routine patrol and emergency routes. The approach used to solve the problem consisted of graph algorithms. Routine patrol was treated as a model of the Traveling Salesman Problem, and was solved using the Nearest Neighbor Heuristic and Tabu Search metaheuristic. The emergency situation was modeled using the Shortest Path Problem, and emergency routes were determined through the Floyd-Warshall algorithm. A case study was used to demonstrate the application of the method. Results show that the proposed method is effective to treat the problem of route selection for school patrols in cities with shortcomings in technological resources.

Keywords: School patrol. School violence. Floyd-Warshall. Nearest neighbor. Tabu search.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura1: Estrutura da pesquisa | 18 |
| Figura 2: Representação Gráfica de um Grafo..... | 24 |
| Figura 3: Estrutura geral do método de busca da meta-heurística de Busca Tabu ... | 31 |
| Figura 4: Etapas da pesquisa..... | 39 |
| Figura 5: Mapa com as escolas e regiões atendidas pelo PPEC..... | 42 |
| Figura 6 : Matriz de distância de entrada | 43 |
| Figura 7: Matriz de distância entre as escolas para cada uma das regiões | 44 |
| Figura 8: Rotas das regiões | 46 |
| Figura 9: Matriz de distância D gerada pelo algoritmo de Floyd-Warshall. | 48 |
| Figura 10: Matriz de sequência S gerada pelo algoritmo de Floyd-Warshall | 49 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1: Consequências da violência escolar | 20 |
| Quadro 2: Definição Cadeia, Caminho, Ciclo e Circuito | 25 |
| Quadro 3: Pseudocódigo Heurística Vizinho mais próximo..... | 29 |
| Quadro 4: Pseudocódigo de BuscaTabu..... | 32 |
| Quadro 5: Pseudocódigo Floyd-Warshall..... | 35 |
| Quadro 6: Perguntas realizadas junto ao PPEC | 38 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Rotas de patrulhamento de rotina determinadas pela heurística do vizinho mais próximo e meta-heurística de Busca Tabu | 45 |
| Tabela 2: Tempos de parada em cada escola variando o número de rondas..... | 51 |
| Tabela 3: Determinação das distâncias entre veículos e a escola 7 por meio da matriz de distâncias de Floyd-Warshall..... | 53 |
| Tabela 4: Determinação das distâncias entre veículos e a escola 21 por meio da matriz de distâncias de Floyd-Warshall..... | 54 |
| Tabela 5: Determinação das distâncias entre veículos e a escola 19 por meio da matriz de distâncias de Floyd-Warshall..... | 55 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|--------|---|
| BPEC | Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária |
| BT | Busca Tabu |
| LT | Lista Tabu |
| PCAM | <i>Patrol Car Allocation Model</i> |
| PCMC | Problema do Caminho Mais Curto |
| PCV | Problema do Caixeiro Viajante |
| PMCVJT | Problema de múltiplos caixeiros viajantes com janela de tempo |
| PPP | Problema da Patrulhamento Policial (PPP) |
| PPEC | Programa de Patrulha Escolar Comunitária |
| SIG | Sistemas de Informações Geográficas |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 OBJETIVOS..... | 15 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 15 |
| 1.1.2 Objetivos Específicos..... | 15 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA..... | 15 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO | 17 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 19 |
| 2.1 VIOLÊNCIA ESCOLAR..... | 19 |
| 2.2 PROBLEMA DA PATRULHA POLICIAL..... | 21 |
| 2.3 GRAFOS..... | 23 |
| 2.4 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE..... | 26 |
| 2.4.1 Heurísticas e Meta-heurísticas..... | 27 |
| 2.4.2 Heurística do Vizinho Mais Próximo | 29 |
| 2.4.3 Meta-Heurística de Busca Tabu..... | 29 |
| 2.5 PROBLEMA DO CAMINHO MAIS CURTO | 32 |
| 2.5.1 Algoritmo de Floyd-Warshall..... | 33 |
| 3 METODOLOGIA..... | 36 |
| 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 36 |
| 3.2 CARCTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA | 36 |
| 3.3 COLETA DE DADOS | 38 |
| 3.4 ETAPAS DA PESQUISA..... | 38 |
| 4 APLICAÇÃO | 41 |
| 4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ABORDADO | 41 |
| 4.2 RESULTADOS DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE | 45 |
| 4.3 RESULTADOS DO PROBLEMA DO CAMINHO MAIS CURTO..... | 47 |
| 4.4 PROBLEMA DE PATRULHAMENTO DE ROTINA..... | 50 |
| 4.5 PROBLEMA DO PATRULHAMENTO EMERGENCIAL..... | 52 |
| 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 56 |
| 5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... | 56 |
| REFERÊNCIAS..... | 58 |

1 INTRODUÇÃO

A escola é uma instituição que possibilita, *a priori*, o acesso à aprendizagem e a socialização dos indivíduos, promovendo, com isso, melhores condições de vida às pessoas, bem como a possibilidade de integração das crianças e adolescentes na sociedade. Contudo, este lugar que deveria ser um refúgio seguro vem tornando-se um espaço de conflitos e violência, resultando em local não atrativo para os alunos (BROWN, 2006).

A violência escolar afeta uma das instituições centrais da sociedade moderna praticamente em todo o mundo (DUMITRIU, 2013). Ammermueller (2012) avaliou a violência escolar em países europeus e constatou que esse problema traz consequências a curto e médio prazo para as vítimas. Baker - Henningham et al. (2009) relacionaram a violência ao desempenho acadêmico em uma escola da Jamaica, evidenciando que a violência afeta diretamente o aprendizado. Assim vários estudos tem sido realizados sobre a prevalência e gravidade da violência nas escolas e apontam graves efeitos que vão desde a redução do rendimento escolar dos alunos até o abandono da escola e desenvolvimento de seres com problemas psicológicos (ALTUN; BAKER, 2010; SHERER; SHERER, 2011; WOLKE, 2001; EISENBRAUN, 2007; PATTON et al., 2012; STEFFGEN et al., 2013; JIMÉNEZ-BARBERO et al., 2013; CHEN; WEI, 2013).

Com o intuito de reduzir as agressões e a violência no ambiente escolar, medidas para prevenir e aumentar a segurança nas escolas vem sendo implantadas, tais como o uso de detectores de metais e câmeras de vigilância, a revista de mochilas e a ronda policial. Dentre todas as medidas, segundo Brown (2006) a alocação de policiais para patrulha escolar é sem dúvida a mais significativa.

Como medida de prevenção e proteção à criança e ao adolescente nas escolas, o Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC) do Estado do Paraná desenvolveu um plano estratégico de policiamento para atender as escolas por meio do Programa de Patrulha Escolar Comunitária (PPEC). Este plano prevê a antecipação de atos delituosos por meio do patrulhamento diferenciado e a mediação de conflitos. O patrulhamento diferenciado contempla o patrulhamento de rotina, de caráter preventivo e o patrulhamento emergencial, de caráter corretivo.

O patrulhamento de rotina consiste na permanência de uma equipe de policiais em frente à escola por um determinado tempo de vigia e o deslocamento desta entre as escolas, em um carro de polícia em baixa velocidade. Este patrulhamento objetiva prevenir atos ilegais por meio da presença territorial, proporcionando assim uma sensação de segurança. Se durante o patrulhamento acontecer alguma ocorrência em uma outra escola, a viatura mais próxima deve ser designada a atendê-la e o patrulhamento é caracterizado como emergencial. Nesta situação, a redução do tempo de espera para o atendimento é muito importante, e sendo assim, a escolha de uma rota ótima pode contribuir para o atendimento mais rápido.

O plano estratégico de implantação da PPEC, entretanto, não prevê um modelo de ação para a escolha de uma rota em situação de emergência, assim como não define qual rota o carro de patrulha deverá seguir em seu patrulhamento de rotina. Atualmente, a tomada de decisão para o atendimento do patrulhamento de rotina e emergencial é realizada a partir da experiência prática dos policiais, não sendo adotada nenhuma abordagem científica e, portanto, não garantindo a escolha de uma rota ótima.

Nas unidades do sistema de ensino são inúmeras as chamadas diárias para atendimento de ocorrências ou atos pertinentes. Pelo volume demandado de serviços, torna-se necessário o desenvolvimento de um modelo que possibilite a melhor distribuição do efetivo e/ou viaturas em relação aos estabelecimentos atendidos e aos recursos humanos e físicos disponíveis em determinado espaço de tempo, possibilitando reestruturação para atender as solicitações caso ocorra problemas pontuais específicos.

Diante disso, este trabalho propõe uma metodologia para determinar as rotas de patrulhamento escolar de rotina e auxiliar na seleção da rota ótima em situações de emergência de modo a possibilitar um atendimento mais eficiente. Para definir as rotas de rotina foram utilizados a heurística do vizinho mais próximo e a meta-heurística de Busca Tabu. O algoritmo de Floyd-Warshall foi aplicado para gerar a rota de menor distância para o percurso emergencial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma metodologia para determinar as rotas de patrulhamento escolar de rotina em cada região e auxiliar a seleção de uma rota ótima entre as escolas para o atendimento em uma situação de emergência.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Conhecer a dinâmica operacional do programa de patrulha escolar;
- Construir um modelo matemático para determinar as rotas ótimas de rotina de patrulhamento e de situação de emergência;
- Definir as rotas de patrulhamento de rotina por meio da heurística do vizinho mais próximo e meta-heurística de busca tabu;
- Definir as rotas de emergência por meio do algoritmo de Floyd-Warshall;
- Operacionalizar a solução.

1.2 JUSTIFICATIVA

A promoção da aprendizagem e a socialização entre os indivíduos são os principais objetivos da escola, e estes estão cada vez mais difíceis de serem alcançados uma vez que o ambiente escolar está deixando de ser seguro e tornando-se um ambiente hostil, cercado de conflitos e violência (BROWN, 2006).

Visto que, no entorno dos estabelecimentos escolares, com o afluxo circulante de alunos, elementos alheios ao sistema formam aglomerações buscando realizar os mais diversos delitos, agravando o problema da segurança com a venda de substâncias ilícitas, desavenças, furtos, roubos e outros afins. Além disso, a cada ano, aumenta a proporção de discentes envolvidos em conflitos no local de ensino, bem como a insegurança presente nos trajetos casa-escola-casa, gerando faltas, desistências e deficiência no aprendizado. A clientela formada por crianças e

adolescentes exige tratamento exclusivo a ser dispensado aos envolvidos pelas especificidades e legislação vigente.

Estudos em todo o mundo têm apontado para uma crescente preocupação com a violência escolar (WOLKE, 2001; EISENBRAUN, 2007; ALTUN; BAKER, 2010; SHERER; SHERER, 2011; PATTON et al., 2012; STEFFGEN et al., 2013; JIMÉNEZ – BARBERO et al., 2013; CHEN; WEI, 2013).

Assim como em outros países, no Brasil a violência escolar tem afetado o desempenho acadêmico dos alunos e influenciado a rotatividade dos professores (SPOSITO, 2001; SEVERINI; FIRPO, 2010). Uma série de consequências às vítimas desta violência tem sido relatadas, tais como: problemas emocionais (SCHWARTZ; GORMAN, 2003; VAN DER WAL et al., 2003; AMMERMUELLER, 2012) problemas psicossomáticos (GINI; POZZOLI, 2009) problemas de autoestima (BRUNSTEIN et al., 2007; EVANS et al., 2004) e problemas comportamentais (WOODS; WHITE, 2005; CHEREJI et al., 2012; CADENA et al., 2012; LUK et al., 2012).

Reduzir a violência nas escolas não só facilita a vida de muitos estudantes que sofrem com ela, mas também leva a um maior investimento em capital humano (AMMERMUELLER, 2012). Medidas de prevenção e intervenção devem ser tomadas com vistas a diminuir a violência nas escolas e dirimir o seu efeito sob as vítimas. De acordo com Brown (2006), a medida mais significativa tomada para a redução da violência é a atribuição de policiais para a patrulha escolar.

Objetivando reduzir o crime dentro e nos arredores das escolas, a Secretaria do Estado de Educação, juntamente com a Polícia Militar, lançou o Programa de Patrulha Escolar Comunitária. Este programa segue um planejamento que busca melhorar a qualidade de vida e o ensino nas escolas por meio da redução da violência. No entanto, este plano não incorpora quais rotas os policiais devem realizar em seu patrulhamento preventivo e qual rota seguir em uma situação emergencial.

Com intuito de modificar este panorama, este trabalho busca contribuir de forma a desenvolver um modelo matemático para auxiliar o PPEC, e gerar resultados que possibilitem sugerir respostas a algumas questões que se encontram em aberto no domínio da segurança pública. A proposta é capaz de gerar resultados que poderão servir para a reestruturação da responsabilidade territorial, e poderá vir a contribuir para a redução da violência nas escolas, com melhor alocação de seus

recursos logísticos e operacionais da patrulha, e possibilitando um patrulhamento preventivo que atue de maneira mais exaustiva nas escolas e onde o número de ocorrências é mais elevado, e para o atendimento rápido a situações de emergência.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a contextualização do tema, trazendo o problema de pesquisa, os objetivos, a justificativa do estudo e a estrutura do trabalho.

O segundo capítulo trata da fundamentação teórica deste trabalho, apresentando o panorama da violência escolar e o problema da patrulha escolar, descrevendo, por último, o problema do caixeiro viajante e do caminho mais curto, utilizados para resolver o problema da patrulha escolar.

A metodologia do trabalho está exposta no terceiro capítulo. Enquanto que os resultados desta dissertação, juntamente com a discussão dos mesmos, estruturam-se no capítulo 4.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as considerações finais do trabalho, bem como as sugestões para trabalhos futuros.

Com intuito de fornecer uma visão geral do desenvolvimento deste estudo, a Figura 1 ilustra um fluxograma dos passos delineados nesta dissertação.

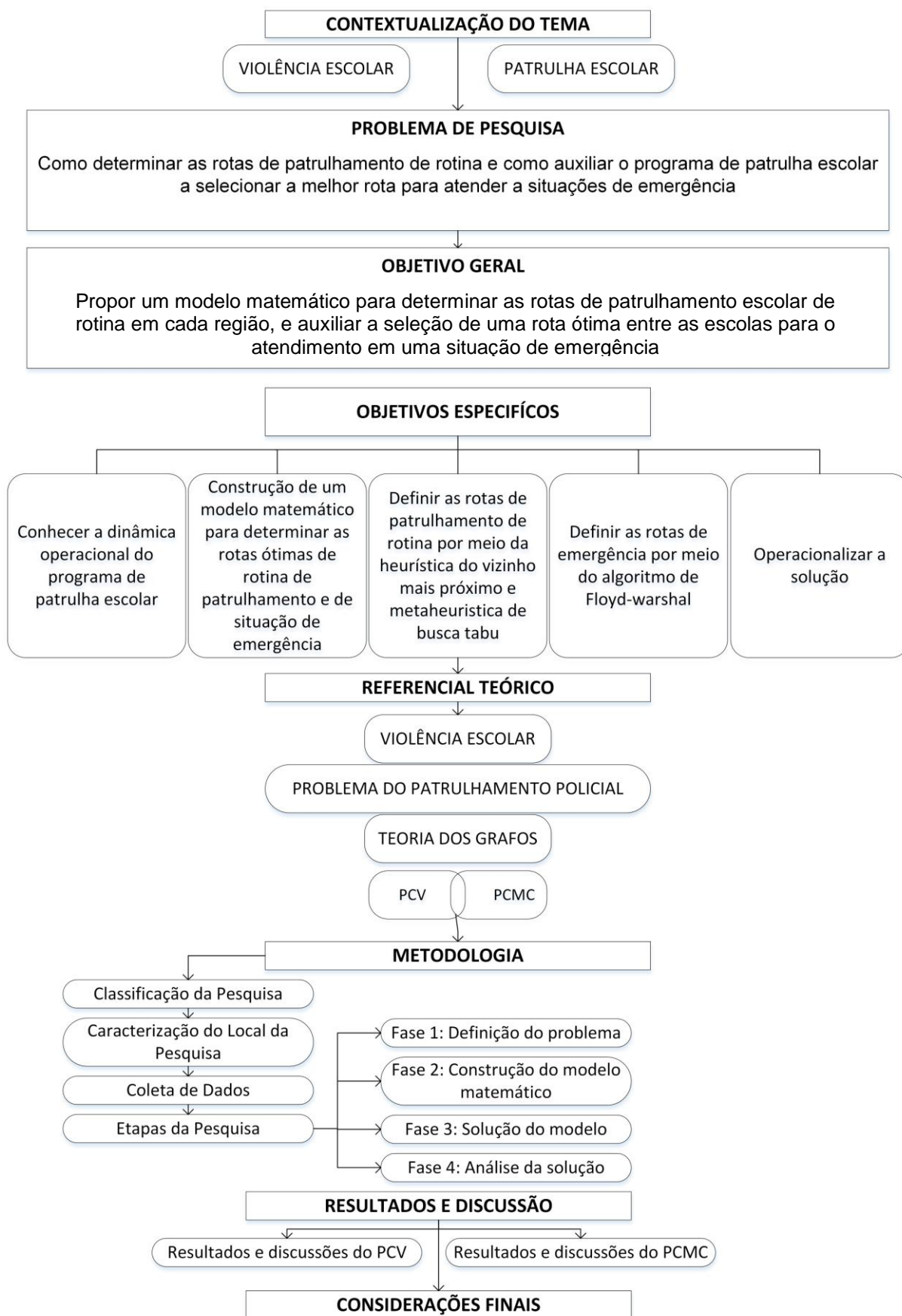


Figura1 : Estrutura da pesquisa
Fonte: Autoria Própria.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o referencial teórico realizado para nortear esta pesquisa. Os principais temas levantados foram, a violência nas escolas, o problema do patrulhamento policial, e os métodos utilizados para resolução do problema.

2.1 VIOLÊNCIA ESCOLAR

A violência nas escolas é um fenômeno aparente na maioria dos países, embora a atenção pública esteja voltada principalmente para as formas extremas de violência, como tortura e os assassinatos de estudantes. (EISENBRAUN, 2007) Os pequenos atos de violência porém frequentes no dia-a-dia, tem refletido negativamente no crescimento pessoal e intelectual dos alunos expostos a violência (ALTUN; BAKER, 2010; AMMERMUELLER, 2012; ADAM; SCOTUZZI, 2013).

De acordo com Priotto e Boneti (2009), entende-se por violência escolar, todos os atos ou ações de vitimização que englobam comportamentos agressivos e antissociais, incluindo conflitos interpessoais, danos ao patrimônio, atos criminosos, marginalizações, discriminações, dentre outros. Praticados por, e entre, a comunidade escolar (alunos, professores, funcionários, familiares e estranhos à escola) no ambiente escolar.

Vitimização refere-se a um aluno que está sendo exposto a ações negativas por parte de um ou mais alunos com a intenção de machucar física e/ou psicologicamente. Quando essa ação se repete regularmente ao longo do tempo denomina-se *Bullying* (OLWEUS, 1994).

O *Bullying* ocorre de forma física, verbal ou relacional. As primeiras duas formas incluem atos agressivos diretos, como bater, chutar, beliscar, furtar pertences ou dinheiro, empurrar ou o abuso verbal direta (xingar, provocar, insultar, ameaçar, etc.). Em contraste, o *bullying* relacional, que é o mais difícil de ser percebido, refere-se a intrigas, fofocas e até mesmo exclusão social do indivíduo (CRICK; GROTPETER, 1995, WOLKE et al., 2001).

A exposição contínua à violência está relacionada com o desenvolvimento de inúmeras consequências às vítimas, conforme apresentadas no quadro 01

| Consequências da Violência escolar | Trabalhos Referidos |
|---|--|
| <i>Problemas psicossomáticos</i> como: enurese, problemas para dormir ou perda de apetite | GiniePozzoli(2009) |
| <i>Problemas emocionais</i> nas vítimas e agressores, que interferem na capacidade de concentração dos alunos, refletindo em seu desempenho acadêmico | Schwartz e Gorman(2003); Van der Wal et al., (2003); Ammermueller(2012) |
| <i>Problemas com auto-estima</i> , depressão e ideação suicida | Brunstein et al, (2007), Evans et al, (2004); Van der Wal et al.,2003 |
| <i>Problemas comportamentais</i> , tais como abuso de drogas, comportamentos delituosos, que por sua vez, causar problemas legais, econômicos e sociais | Chereji et al.(2012); Cadena et al.(2012); Luk et al.(2012); Woods e White (2005) |

Quadro 1 - Consequências da violência escolar
Fonte: Adaptado de Jiménez – Barbero et al. (2013).

No Brasil, um balanço sobre as pesquisas que tratam da violência escolar foi realizado por Sposito (2001). O autor considera que, a partir de 1990, ocorreram mudanças no padrão de violência nas escolas públicas, fazendo com que estas instituições tenham, agora, que responder não só a atos de vandalismo, mas também ao uso de drogas, posse de armas e agressões.

As agressões entre alunos e professores nas escolas públicas brasileiras se intensificaram de forma que o número de docentes afastados com problemas de saúde está cada vez maior (SPOSITO, 2001). O que vai ao encontro da pesquisa feita por Severini e Firpo (2010), a partir da qual os autores identificaram que as escolas brasileiras com maior índice de violência apresentam uma maior rotatividade de professores.

Para Ammermueller (2012), a violência nas escolas é um problema generalizado que apresenta consequências de curto e longo prazo para as vítimas. Reduzir a violência nas escolas, não só facilita a vida de muitos estudantes que sofrem com ela, mas também deve levar a um maior investimento em capital humano. Medidas de prevenção e intervenção devem ser tomadas para diminuir a violência nas escolas e, conseqüentemente, dirimir o seu efeito sob as vítimas. Nesse mesmo viés, Jiménez-Barbero et al. (2013), em um projeto experimental destinado a reduzir a violência em escolas na Espanha, mediram a eficácia de uma

intervenção breve e os resultados apontam a uma redução significativa da violência percebida pelos alunos, especialmente entre as meninas.

Baker-Henningham et al. (2009) indicam que antes mesmo da implantação de programas de prevenção, os professores e profissionais que atuam no programa devem ser treinados para promover a competência social e emocional das crianças e prevenir as agressões.

Nesse sentido, muitas são as medidas tomadas para prevenir e aumentar a segurança nas escolas, dentre elas a alocação de policiais da patrulha escolar é a que tem se destacado (BROWN; 2006). Em países desenvolvidos, policiais são treinados e capacitados para lidar e atender os problemas da escola. Jennings, et al.(2011) ressaltaram que os policiais nas escolas desempenham um papel importante no combate da violência na escola.

No Brasil, durante os últimos vinte anos, as políticas públicas de redução da violência em meio escolar têm se originado, sobretudo, na esfera estadual e municipal (GONÇALVES; SPOSITO, 2002), como é o caso do Estado do Paraná, onde a Secretária de Educação do Estado, juntamente com a Polícia Militar, lançou em 2004 o Projeto Patrulha Escolar comunitária, com o objetivo de reduzir o crime dentro e nos arredores das escolas. O programa busca melhorar a qualidade de vida e ensino nas escolas, reduzindo os níveis de violência.

Por se tratar de um projeto recente, são escassos os trabalhos que se referem ao PPEC (ESPER, 2007; SILVA, 2009; IAROCZINSKI , 2009; ROSA et al., 2011; SANTOS, 2011; CASTRO 2013). Destes, poucos tratam das rotas dos veículos de patrulha.

Assim, para um melhor entendimento do problema de patrulhamento, faz-se, na próxima seção, uma revisão abordando o problema de patrulhamento policial, uma vez que as suas características são próximas às do patrulhamento escolar.

2.2 PROBLEMA DA PATRULHA POLICIAL

O Problema da Patrulhamento Policial (PPP) é uma questão complexa que exige conhecimento de inúmeras técnicas e áreas e lida normalmente com três questões principais 1) O problema de distribuição das áreas de patrulha; 2) A

definição das rotas de patrulha; 3) e a designação para atendimento a chamadas de emergência.

Para resolver estas questões, alguns métodos de pesquisa operacional têm sido empregados. No caso do problema de distribuição das áreas de patrulha, os métodos utilizados são: método da p-mediana e de agrupamento (MITCHEL, 1972), meta- heurísticas como: *Simulated annealing* (D'AMICO et al., 2002), Busca Tabu (BOZKAYA, et al.,1999) e ainda o uso combinado de *Simulated annealing* e simulação computacional (ZHANG; BROWN, 2014) e até mesmo a Integração de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com otimização por programação linear (CURTIN,et al. 2005).

Zhang e Brown (2014) propuseram um algoritmo de *Simulated annealing* para distribuir de forma ótima as áreas da patrulha policial e avaliaram a solução por meio de simulação computacional. Já D'amico et al. (2002) utilizaram, para avaliar o desempenho, a nova configuração o PCAM (*Patrol Car Allocation Model*), que é um *software* já utilizado pelo departamento de polícia de Nova York. Contudo, os autores sugeriram o uso de um *software* de SIG, já que este é capaz de obter informações mais precisas da realidade.

Desta forma, em seu trabalho, Curtin et al. (2010) formularam um modelo de otimização integrado com um *software* de SIG. Outra abordagem para este problema foi demonstrada por Melo et al. (2006), que criaram uma ferramenta multi-agente, a qual pode ser utilizada para simular o comportamento criminal e policial de uma região, verificando como diferentes rotas de policiamento colaboram para a redução das taxas de criminalidade.

A segunda questão do PPP é a definição de rotas de patrulha, e está relacionada com Problema do Caminho Mais Curto (PCMC) e Problema do Caixeiro Viajante (PCV) (WOLFLER CALVO; CORDONE, 2003). A solução deste problema tem sido encontrada pelo uso de: algoritmos de grafos (CHAWATHE, 2007; DUCHENNE et al., 2005; DUCHENNE et al., 2007), de Busca Tabu e Busca Local (KESKIN, et al.2012), de ferramenta da simulação multi-agente (REIS et al. 2006; MELO et al., 2006), de modelos matemáticos (LI, et al. ,2011; SHARMA, et al., 2007; SU; LU, 2010) e até mesmo softwares de SIG (KUO, et al., 2013).

Wolfler Calvo e Cordone (2003) otimizaram as rotas de patrulhamento de uma empresa de segurança em Milão, por meio do Problema de múltiplos caixeiros

viajantes com janela de tempo (PMCVJT) e conseguiram reduzir fortemente os custos e melhorar os padrões de qualidade aumentando os níveis de segurança.

Problemas que buscam determinar as rotas de patrulhamento não procuram somente reduzir a rota ou custo, mas também maximizar a cobertura de pontos importantes. Estes locais são denominados *hot-spots*, que são os lugares mais sensíveis ao crime ou mais propensos a acidentes (CHAWATE,2007; KESKIN, et al., 2012; REIS et al., 2006).

E, por último, para resolver a terceira questão do PPP, vários esforços de pesquisa bem-sucedidas tem sido realizadas, modelos baseados em teoria das filas, como é caso do modelo hipercubo de filas (LARSON,1975), que depois foi atualizado em um trabalho de Green (1984) e passou a incluir despachos múltiplos, sendo testado e validado em um trabalho futuro (GREEN; KOLESAR 1989). Chaiken e Dormont (1978) também desenvolveram um modelo baseado em teoria das filas denominado *Patrol car model*. Geroliminis, et al. (2004) desenvolveram um modelo que unifica o problema de distribuição/localização de serviços de emergências e a expedição para o atendimento de emergência. O modelo é um relaxamento do problema de máxima cobertura e localização e uma extensão do trabalho de Larson (1975).

Devido à natureza do problema tratado neste estudo, a abordagem escolhida para a modelagem foi a de algoritmos de grafos (BANG-JENSEN; GUTIN, 2007; BOLLOBÁS,1998). O patrulhamento de rotina, foi tratado como Problema do Caixeiro Viajante (GUTIN; PUNNEN, 2002; APPLGATE, 2006; PUNNEN, 2007), e a situação de emergência foi considerada como uma instância do Problema do Caminho Mais Curto (ROSENKRANTZ et al.,1977; GALLO; PALLOTTINO, 1988; CHERKASSKY et al., 1996). Estes métodos serão definidos e discutidos na próxima seção.

2.3 GRAFOS

Esta seção introduz o conceito de Grafo, que foi utilizado para modelar a rede de patrulha escolar. Por definição, um grafo G é um par $G = (V, E)$ composto por um conjunto finito não vazio V e um conjunto E de subconjuntos de dois elementos de V .

Os elementos de V são denominados vértices (ou nós), e um elemento $e = \{v_i, v_j\}$ de E é denominado aresta com vértices v_i e v_j (BANG-JENSEN; GUTIN, 2007; BOLLOBÁS, 1998).

Denomina-se laço a aresta que inicia-se e termina no mesmo vértice. A aresta (i, j) é incidente nos vértices i e j . A aresta (i, j) é uma aresta de saída do vértice i e uma aresta de chegada do vértice j . O vértice j diz-se adjacente ao vértice i se (i, j) for uma aresta. Duas arestas são adjacentes se forem ambas incidentes relativamente ao mesmo vértice. O grau de um vértice é medido pelo número de arestas incidentes a ele (JEQUESSENE, 2010). A representação gráfica de um grafo é feita por pontos (vértices) e linhas (arestas) unindo estes pontos, a figura 2 pode-se verificar esta representação.

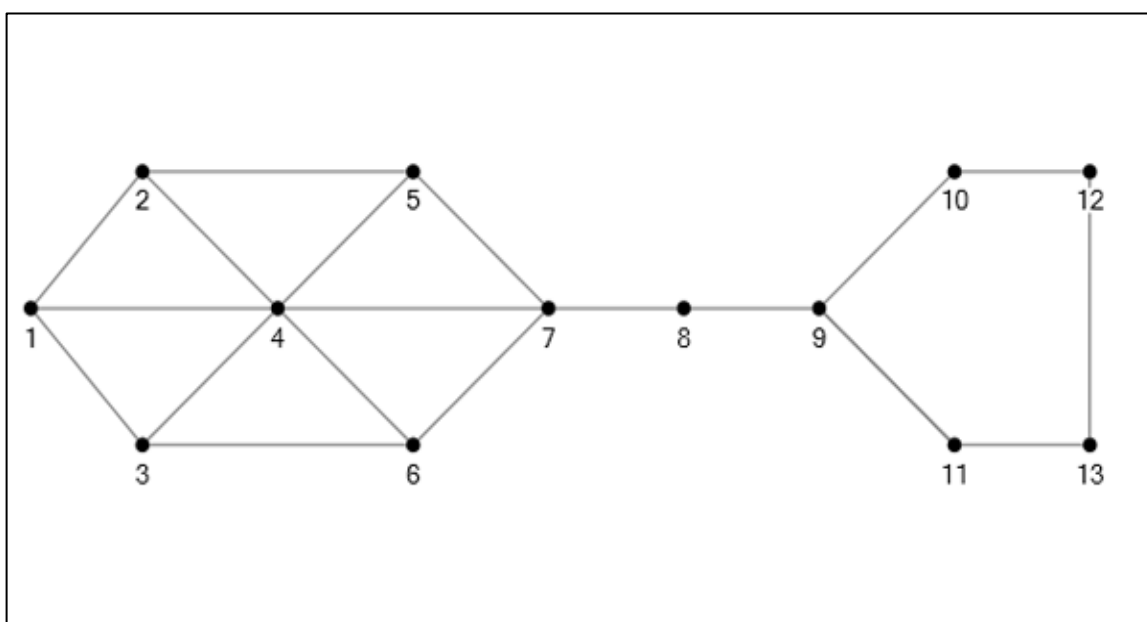


Figura 2: Representação Gráfica de um Grafo
Fonte: Autoria Própria.

Quanto as características de suas arestas, um grafo pode ser:

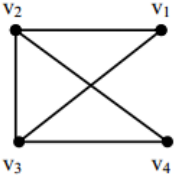
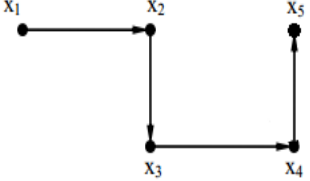
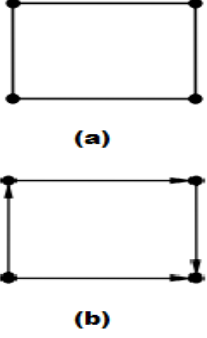

a) Orientado e não orientado: O grafo é dito orientado quando suas arestas possuem uma orientação definida, ou seja, um nó da aresta é definido como origem desta e o outro como destino. Em contraste em um grafo não orientado a direção não é informada.

b) Valorado e não valorado: Um grafo é valorado, quando existem valores atribuídos a cada uma de suas arestas. Exemplo disto ocorre quando se está

representando uma rede viária e se atribui a cada aresta os valores correspondentes à distância entre interseções (vértices). Do contrário é dito como não-valorado.

c) Planar e não-planar: Um grafo planar é aquele em que as arestas somente se cruzam sobre um nó, podendo conseqüentemente ser projetado sobre um plano, sem perder suas características. Um grafo não-planar, no entanto, quando projetado sobre um plano, apresenta interseções de arestas não coincidentes com um nó, em função de sua estrutura espacial.

A seqüência de arestas em um grafo visto a sua incidência e orientação pode formar: uma cadeia, um caminho, um ciclo ou um circuito, como ilustrado no quadro 2.

| | |
|---|---|
| <p>Cadeia: é uma seqüência qualquer de arestas adjacentes que ligam dois vértices. O conceito de cadeia vale também para grafos orientados, bastando que se ignore o sentido da orientação dos arcos.</p> |  |
| <p>Caminho: é uma cadeia na qual todos os arcos possuem a mesma orientação. Ou seja, é uma seqüência de vértices adjacentes em que a extremidade final de uma aresta (arco) é extremidade inicial da aresta (arco) seguinte.</p> |  |
| <p>Ciclo: é uma cadeia simples e fechada (o vértice inicial é o mesmo que o vértice final). Dentre os ciclos existem:</p> <p>-<u>Ciclo Euleriano</u>: é ciclo que passa uma vez por todas as arestas do grafo, sem repetir nenhum, esta representado em (a).</p> <p>-<u>Ciclo Hamiltoniano</u>: é uma cadeia que começa e termina no mesmo vértice, percorrendo todos os vértices uma só vez (exceto o primeiro que também é o último). Representado em (b).</p> |  |
| <p>Circuito: é um caminho simples e fechado.</p> |  |

Quadro 2: Definição Cadeia, Caminho, Ciclo e Circuito

Fonte: Adaptado de Costa (2008) e Jequesse (2010).

Um grafo $G = (V, E)$ é dito como hamiltoniano se admitir um ciclo hamiltoniano (COSTA; 2008).

Neste trabalho, lida-se com grafos orientados e valorados. Assim, no grafo da região da patrulha escolar, cada escola é representada por um vértice e as rotas entre cada par de escolas por arestas. A distância entre duas escolas é representada por um valor não-negativo associada à aresta.

2.4 PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

O Problema do Caixeiro Viajante (PCV) é um dos problemas mais famosos de otimização combinatória, o mesmo tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores das mais diversas áreas científicas, visto a sua grande e variada aplicação (LAPORTE, 1992). O PCV consiste em estabelecer um trajeto que passe em cada nó de uma rede, uma única vez, retornando ao nó de início no final do percurso. Este roteiro deve ser feito de forma a economizar recursos e ou/tempo(GUTIN; PUNNEN, 2002; REGO et al., 2011).

A origem do PCV deve-se a Willian Rowan Hamilton, que propôs um jogo para encontrar uma rota sob os vértices de um dodecaedro regular. O desafio era percorrer as arestas do dodecaedro de modo a passar exatamente uma vez por cada um dos vértices (nós) e iniciar e terminar no mesmo nó (GOLDBARG;LUNA; 2000; APPLGATE, 2006).

Apesar da origem deste problema ser atribuída a Hamilton, a grande evolução na resolução do PCV deve-se a Dantzig et al (1954), que descreveram um método de solução para o problema e ao mesmo tempo demonstraram graficamente o poder desse método com a resolução de uma instância do PCV para 49 cidades.

O PCV tem sido utilizado em uma variedade de aplicações tais como: no sequenciamento de tarefas (JENSSON et al., 2005; BIGRAS, et al., 2008; STECCO et al., 2008; GROMICHO et al., 2012); no encaminhamento de frota de aviões de vigia (SHETTY et al. 2008); em projetos de rede de fibra óptica (WASEM, 1991; TRIAY; CERVELLÓ-PASTOR, 2010).

De acordo com Costa (2008), a classificação deste problema acontece de acordo com a sua simetria e completude. Um problema simétrico é quando a distância de um ponto "a" a um ponto "b" é igual a distância do ponto "b" ao ponto "a", caso o contrário o problema é assimétrico. O problema é considerado completo quando apresenta um caminho direto entre todos os pontos. Caso isso não aconteça, esse problema é dito não completo. Vale ressaltar, que o problema resolvido neste trabalho é completo e assimétrico.

O PCV é dito como um problema NP-completo como foi demonstrado por Garey e Johnson (1979), o que significa que possui uma ordem de complexidade exponencial, visto que o esforço computacional para a sua resolução aumenta exponencialmente de acordo com o número de nós a serem visitados.

Devido à complexidade do PCV, somente alguns problemas de pequeno porte podem ser solucionados de forma ótima, uma vez que o tempo computacional exigido para resolver problemas de grande porte de forma exata é inviável. Assim, poucas alternativas têm restado aos pesquisadores senão utilizar de métodos heurísticos para resolver o problema. Esses métodos serão delineados na próxima seção.

2.4.1 Heurísticas e Meta-heurísticas

Os métodos utilizados para resolver o Problema do Caixeiro Viajante estão divididos em dois grupos: os métodos exatos e os métodos heurísticos. Laporte (1992), assevera que diante da limitação dos métodos exatos e a grande exigência computacional para resolver problemas com grande número de nós, métodos heurísticos estão cada vez sendo mais utilizados. As heurísticas ou algoritmos heurísticos permitem a obtenção de soluções de forma aproximada porém com maior rapidez, normalmente se baseiam em uma abordagem intuitiva que assume a estrutura particular de um problema de forma inteligente. Dessa forma, a maioria das heurísticas propostas são específicas para cada problema, o que impossibilita a obtenção de boas soluções para problemas com características e/ou restrições muito distintas do problema para o qual ela foi desenvolvida (COSTA, 2008; HILLIER; LIEBERMAN, 2005),

Buscando modificar este panorama segundo Cunha (1997), pesquisadores desenvolveram, nos últimos anos, um método aplicável a uma gama de diversos problemas, denominado de meta-heurística.

De acordo com Sucupira (2004), uma meta-heurística é um conjunto de conceitos que podem ser utilizados para definir métodos heurísticos aplicáveis a um extenso conjunto de diferentes problemas. Pode ser vista como uma estrutura algorítmica geral que pode ser aplicada a diferentes problemas de otimização com relativamente poucas modificações que a adaptem para resolver um problema específico.

De acordo com Hillier e Lieberman (2005), a meta-heurística tornou-se uma das mais importantes técnicas para auxiliar os profissionais de Pesquisa Operacional a resolver seus problemas. Alguns exemplos de meta-heurísticas são: Busca Tabu, *Simulated Annealing*, *Iterated Local Search*, Algoritmos Genéticos, *Ant System*, etc. Elas descrevem métodos adaptáveis e fornecem ideias que podem ser aplicadas aos problemas de otimização para os quais não são conhecidos algoritmos específicos eficientes (SUCUPIRA, 2004).

Além de ser aplicável a inúmeros problemas, uma meta-heurística tem como principal característica a capacidade de escapar dos ótimos locais dando certa flexibilidade às restrições da função objetivo. As heurísticas baseiam-se na melhoria do movimento a ser executado, buscando um ótimo local, se limitando a fornecer sempre a mesma solução quando iniciadas em um mesmo ponto. As meta-heurísticas suprem essa deficiência, baseando-se na melhoria da solução, deixando temporariamente um ótimo local para procurar um ótimo global, mesmo que isso motive a perda temporária do valor (CHAVES;2003).

O método utilizado para a definição das rotas de patrulhamento de rotina neste trabalho foi realizado em duas etapas. A primeira corresponde à geração de uma solução inicial de relativa qualidade, por meio da Heurística do Vizinheiro mais Próximo; e a segunda é a implementação desta solução na meta-heurística de Busca Tabu, com o objetivo de aprimorar a solução inicial. Nas próximas seções estes dois métodos serão abordados de maneira exemplificada.

2.4.2 Heurística do Vizinho Mais Próximo

A heurística do vizinho mais próximo (ROSENKRANTZ, et al.,1977; ROTHLAUF, 2011) é uma heurística de busca local simples e rápida que permite a construção de um circuito PCV.

Pode-se dizer que é a heurística mais intuitiva para o PCV. Sua regra prática é a de ir sempre para o nó mais próximo que ainda não foi visitado. Partindo de um nó qualquer v_i visita-se o nó v_k que é o mais próximo de v_i . Depois estende-se o roteiro visitando o nó mais próximo de v_k que ainda não foi visitado. Continua-se assim até que todos os nós tenham sido visitados, retornando à cidade v_i . Não é permitido visitar mais de um nó duas vezes ou modificar a escolha, ou seja, após um nó ser inserido em uma determinada posição da rota, ele não sofrerá modificação de posicionamento (BODIN, 1983; ARAUJO, 2001; COSTA, 2008, BENEVIDES,2011)

No Quadro 3 está representado o pseudocódigo da Heurística do Vizinho mais próximo:

| Procedimento |
|---|
| P1: Inicie com um sub-grafo contendo apenas o nó i ; |
| P2: Encontre o nó k tal que C_{ik} seja mínima e forme a rota $i-k-i$; |
| P3: Dada a sub-rota, encontre o nó k não pertencente à sub-rota mais próximo de qualquer nó da sub-rota; |
| P4: Encontre o arco (i, j) na sub-rota que minimiza Insira k entre i e j ; |
| P5: Volte ao passo 3 até formar um circuito Hamiltoniano |
| Fim |

Quadro 3 Pseudocódigo Heurística Vizinho mais próximo

Fonte: Autoria Própria .

2.4.3 Meta-Heurística de Busca Tabu

A meta- heurística de Busca Tabu tem sido amplamente utilizada para resolver diversos problemas como: arranjo de carregamento de contêineres (POLI; PUREZA, 2012); alocação de salas de aula de uma universidade (SUBRAMANIAN et al., 2011); na indústria farmacêutica (KONZEN, et al.,2003) na programação de

tripulações (MARINHO, et al; 2004) e, como é o caso deste trabalho para a construção de rotas (CORDEAU; LAPORTE, 2003; PACHECO, et al., 2009; PEDRO, et al., 2013; DU; RE, 2012; RENAUD, et al., 1996; SZYMON; DOMINIK, 2013; MONTANÉ, 2006; JIANG, et al., 2013) e tem se mostrado eficiente na grande maioria dos casos.

A principal característica desta meta-heurística refere-se ao seu processo de busca, onde ela incorpora estratégias de busca baseadas em uma memória adaptativa, que pode ser de curto prazo ou de longo prazo (GLOVER; LAGUNA, 1997).

Sua memória de curto prazo restringe a busca através de uma lista (Lista Tabu) que armazena movimentos já realizados. Cada vez que uma solução nova é encontrada esta lista é consultada, caso ela esteja presente na lista é então proibida. Isso permite superar ótimos locais evitando que a busca cicle novamente, e direcionando a um espaço de soluções mais abrangente (ZHANG; SUN, 2002). Contudo, é possível que um movimento considerado tabu leve a uma solução não analisada ainda. Neste caso, para Arroyo e Armentano (2005) o critério de aspiração libera um movimento considerado suficientemente importante naquele momento da busca, desde que leve a uma solução desconhecida e com bons atributos.

Para cada problema tratado por esta meta- heurística, é importante definir três elementos (BENEVIDES, 2011), a saber:

1. Espaço de Busca: é o espaço de todas as possíveis soluções que podem ser consideradas durante a busca.
2. Vizinhança: é um elemento fortemente relacionado ao espaço de busca. A cada iteração da Busca Tabu, as modificações que podem ser aplicadas na solução atual formam um conjunto de soluções vizinhas no espaço de busca, definindo a vizinhança do ponto transformado.
3. Tabus: são elementos que previnem visitas cíclicas no espaço de busca quando se está tentando fugir de um máximo/mínimo local e nenhuma transformação aplicada traz melhorias à solução atual.

De acordo com Fraga (2006), o tamanho da Lista Tabu (LT) define o número de iterações em que um movimento será proibido. Uma lista muito grande restringe demais a busca, e por outro lado, uma lista muito pequena aumenta as chances do

processo entrar em ciclo, pois reduz o número de iterações em que o movimento é proibido de ser realizado. Por isso, a Busca Tabu deve manter um rigoroso controle sobre o tamanho da lista tabu.

Os critérios de parada da Busca Tabu podem ser: 1) número de iterações: a busca termina após um certo número de iterações sem melhoria; 2) tempo de processamento, após um tempo de processamento pré-determinado se encerra a busca; 3) quando um limite pré-definido é alcançado

Na maioria dos casos, o uso da memória de curto prazo é suficiente para encontrar soluções de qualidade, porém existem casos que a busca se torna mais eficiente quando a memória de longo prazo é incorporada. As principais estratégias desta memória são diversificação e intensificação. A diversificação tem o objetivo de direcionar a busca para novas regiões, de forma a atingir o maior espaço de soluções possíveis, evitando que o processo estabilize num ótimo local. Já no processo de intensificação a estratégia é retomar a busca para regiões da vizinhança consideradas promissoras (PEDRO, et al., 2013). A figura 3 ilustra o procedimento de busca da meta-heurística de busca tabu

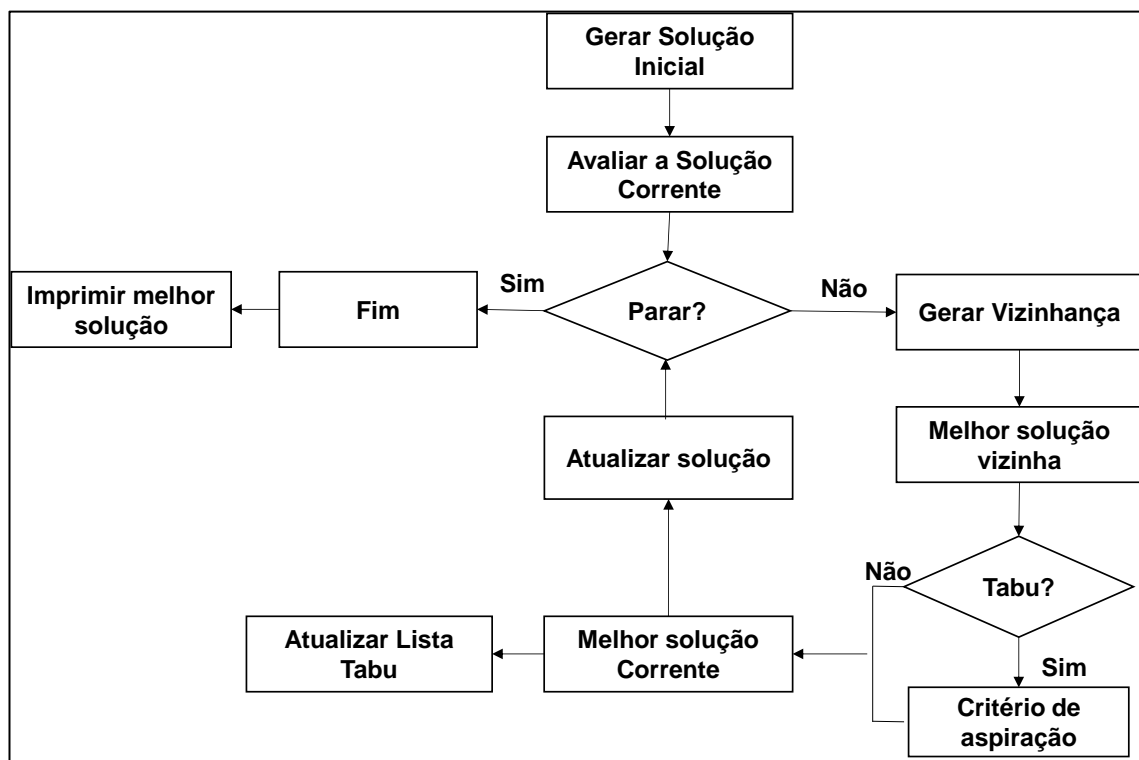


Figura 3: Estrutura geral do método de busca da meta-heurística de Busca Tabu
Fonte: Autoria própria.

O Quadro 4 apresenta o pseudocódigo do algoritmo da Busca Tabu conforme Subramanian et al. (2011)

| Procedimento BT | |
|------------------------|---|
| 1. | $S_0 \leftarrow$ Geraçõesoluçãoinicial (), |
| 2. | $S^* \leftarrow S_0$; {Melhor solução obtida até então} |
| 3. | $S \leftarrow S_0$; |
| 4. | $IterT \leftarrow 0$; {Contador do número de iterações} |
| 5. | $MelhorIter \leftarrow 0$; {Iteração mais recente que forneceu S^* } |
| 6. | Seja $BTmax$ o número de iterações sem melhora em S^* ; |
| 7. | $T \leftarrow \emptyset$; {Lista Tabu} |
| 8. | <u>enquanto</u> ($IterT - MelhorIter \leq BTmax$ e $IterT < IterMax$) <u>faça</u> |
| 9. | $IterT \leftarrow IterT + 1$; |
| 10. | Seja $S' \leftarrow S \oplus m$ o melhor elemento de $V \subset N(s)$ tal que o movimento m não seja tabu ($m \notin T$) <u>ou</u> se tabu, atenda ao critério de aspiração, isto é, $f(s') < f(s^*)$ |
| 11. | Atualize a Lista Tabu; |
| 12. | $s \leftarrow s'$; |
| 13. | <u>se</u> $f(s') < f(s^*)$ <u>então</u> |
| 14. | $s^* \leftarrow s'$; |
| 15. | $MelhorIter \leftarrow IterT$; |
| 16. | <u>fim se</u> ; |
| 17. | <u>fim-enquanto</u> ; |
| 18. | Retorne s^* ; |
| | fim BT ; |

.Quadro 4: Pseudocódigo de BuscaTabu
Fonte: Subramanian et al.(2011).

2.5 PROBLEMA DO CAMINHO MAIS CURTO

Dada uma rede qualquer, o caminho mais curto entre um par de vértices (i) origem e (j) destino, é a sequência de arestas que passando por vértices distintos, e liga i a j somando o menor peso. Este peso pode representar valores de distância, tempo ou custo viagem.

O Problema de Caminho Mais Curto está intimamente relacionado à solução de vários problemas combinatórios como os de roteamento, programação e sequenciamento de tarefas. São exemplos práticos deste problema: a otimização de rotas para entrega de um serviço/produto entre clientes geograficamente distantes (RAVINDRAN, et al. 1988; FEILLET et al. 2004; CHABRIER, 2006; AZI, et al., 2007; AZI, et al., 2010), o planejamento de tráfego urbano de transportes multi-

modal (LOZANO; STORCHI, 2001 ARTIGUES et al., 2013; LÓPEZ; LOZANO, 2014; LIU, et al.2014) e até mesmo a escolha da melhor rota de veículos aéreos (BABEL,2014; SHETTY et al. 2008).

Este problema busca resolver três situações distintas:

- O caminho mais curto entre um par de nós;
- O caminho mais curto entre um nó origem e todos os nós de destino;
- O caminho mais curto entre todos os nós do grafo.

Existem vários algoritmos eficientes para resolver problemas de caminho mais curto com um só objetivo: algoritmo de Dijkstra (DIJKSTRA, 1959), algoritmo de Ford-Bellman-Moore (FORD,1956; MOORE,1957; BELLMAN, 1958), e algoritmo de Floyd- Warshall (FLOYD,1962; WARSHALL, 1962). Os dois primeiros aplicam-se a problemas de caminho mais curto de um nó inicial, i , para um nó final, j (ou de um para todos os outros), o último aplica-se a problemas de caminho mais curto entre todos os pares de nós (KIM: JEONG, 2009).

Muitos estudos, a fim de aumentar a eficiência da solução, propõem adaptação e melhoria destes algoritmos (GOLDBERG; RADZIK, 1993; CRAUSER, et al.,1998; AINI ;SALEHIPOUR, 2012). Contudo, o algoritmo escolhido para resolver o problema de rotas em situações emergenciais foi o algoritmo de Floyd- Warshall, por apresentar como solução as rotas ótimas entre todos os pontos em uma única matriz.

2.5.1 Algoritmo de Floyd-Warshall

Conforme Aini e Salehipour (2012), o algoritmo de Floyd-Warshall é um dos melhores algoritmos disponíveis para o tratamento do problema do caminho mais curto. Este algoritmo utiliza a técnica de programação dinâmica para resolver o problema do caminho mais curto entre todos os pares de nós (todos para todos) em uma rede dirigida (FLOYD,1962; WARSHALL, 1962).

O algoritmo de Floyd-Warshall recebe como entrada a matriz adjacências $M[i, j]$, que representa o grafo $G = (V, E)$. A matriz de adjacências $M[i, j]$ é uma matriz

quadrada $n \times n$, onde n é o número de vértices e seus elementos representam os pesos das arestas (distâncias) entre os vértices i e j .

O valor de um caminho entre dois vértices é a soma dos valores de todas as arestas ao longo desse caminho. As arestas E do grafo podem ter valores negativos, mas o grafo não pode conter nenhum ciclo de valor negativo. O algoritmo calcula a menor distância e a rota entre cada dois nós arbitrários i e j , respectivamente.

O algoritmo se baseia nos seguintes passos:

- Assumindo que os vértices de um grafo orientado G são $V = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, considere um subconjunto $\{1, 2, 3, \dots, k\}$;
- Para qualquer par de vértices (i, j) em V , considere todos os caminhos de i a j cujos vértices intermediários pertencem ao subconjunto $\{1, 2, 3, \dots, k\}$, e p como o mais curto de todos eles;
- O algoritmo explora um relacionamento entre o caminho p e os caminhos mais curtos de i a j com todos os vértices intermediários em $\{1, 2, 3, \dots, k\}$;
- O relacionamento depende de k ser ou não um vértice intermediário do caminho p .

Uma vez que a cada iteração o algoritmo verifica se a inclusão de um nó intermediário k entre dois nós i e j reduz o caminho (menor distância), tem-se como solução final do algoritmo de Floyd-Warshall uma matriz que contém os valores do caminho mais curto entre todos os pares de vértices, denominada matriz de distância D , e uma matriz que armazena a rota do caminho mais curto, denominada matriz de sequência S . O algoritmo de Floyd-Warshall está representado quadro 5.

Algoritmo de Floyd –Warshall

Passo 1. Definir D_k e S_k como duas matrizes quadradas $n \times n$, onde k é o número de fases e n é o número total de vértices da rede.

Passo 2. Para $k = 0$ calcular D_0 e S_0 :

$D_0 = [d_{ij}]$, onde

$$d_{ij} = \begin{cases} d_{ij} & \text{se existe uma rota direta de nó de ligação } i \text{ para o nó } j \\ \infty & \text{se não houver uma rota direta que liga o nó } i \text{ ao nó } j \\ 0 & \text{se } i = j \end{cases}$$

$S_0 = [r_{ij}]$, onde

$$s_{ij} = \begin{cases} k & \text{se existe uma rota direta de nó de ligação } i \text{ para o nó } j \\ - & \text{se não houver uma rota direta que liga o nó } i \text{ ao nó } j \\ - & \text{se } i = j \end{cases}$$

Passo 3. Para $k = 1, \dots, n$ calcular as matrizes D_k e o S_k como segue:

- Defina linha k e a coluna k como linha e coluna pivô.
- Verifique então se $d_{ik} + d_{kj} < d_{ij}$ (onde $i \neq j$, $i \neq k$, $j \neq k$) para cada elemento d_{ij} em D_{k-1} , se a condição for satisfeita, faça as mudanças:

- (a) Crie D_k , substituindo d_{ij} em D_{k-1} por $d_{ik} + d_{kj}$
- (b) Crie S_k substituindo s_{ij} em S_{k-1} por k .

Passo 4. Repita o passo 3 até D_n e S_n serem geradas.

Quadro 5: Pseudocódigo Floyd-Warshall
Fonte: Adaptado de Aini e Salehipour (2012).

3 METODOLOGIA

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para alcançar os objetivos propostos neste estudo. O capítulo é subdividido nas seguintes seções: Classificação da pesquisa, Caracterização do local da pesquisa, Coleta de dado e Passos para o desenvolvimento da pesquisa.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa é classificada quanto a sua natureza como aplicada, pois propõe uma solução para o problema de patrulhamento escolar, objetivando gerar conhecimentos para a solução deste. Em relação à abordagem do problema, classifica-se como quantitativa, já que a mesma busca transformar dados numéricos em informações objetivas e comparáveis, tornando a análise consistente.

Quanto aos seus objetivos, é caracterizada como uma pesquisa exploratória, pois visa a compreensão de um problema pouco abordado com vistas a torná-lo explícito e formulá-lo precisamente. Em relação aos procedimentos técnicos, trata-se de um estudo de caso, pois envolve o estudo profundo e específico do programa de patrulha escolar e permite o conhecimento amplo e detalhado deste programa.

3.2 CARCTERIZAÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

O modelo proposto foi desenvolvido para atender as necessidades do Programa de Patrulha Escolar Comunitária e foi aplicado para o caso específico da cidade de Ponta Grossa. O PPEC atua em conjunto ao Batalhão de Patrulha Escolar Comunitária (BPEC) da cidade, criado para operacionalizar o programa e servir de sede para este.

O que motivou a implantação da PPEC, no Estado do Paraná foi necessidade que a Secretaria de Educação e a Polícia Militar sentiram em dar resposta à crescente violência nas escolas e em seu entorno criando uma estratégia

de prevenção duradoura e na forma de programa, ou seja que proporcionasse caráter contínuo.

O PPEC busca proporcionar uma sensação de segurança maior a comunidade escolar, visto que a cada ano, aumenta a proporção de discentes envolvidos em conflitos no local de ensino, e inseguros em seu trajeto casa-escola-casa, o que gera faltas, desistências e deficiência no aprendizado.

A clientela formada por crianças e adolescentes exige um tratamento diferenciado, visto que as suas necessidades são diferentes das que os policiais estão acostumados a atender, para isso o programa conta com policiais treinados e dedicados a tender as escolas e compreender seus problemas específicos. A implantação do PPEC ocorreu através de um planejamento de 5 etapas, sendo estas:

- (1) Mapeamento das escolas e análise de suas instalações físicas quanto à funcionalidade e segurança;
- (2) Diagnóstico escolar, para identificação dos principais problemas no ambiente intra-escolar e arredores;
- (3) Elaboração de um plano de ação com as providências a serem implementadas;
- (4) Execução do plano de ação, e conscientização de pais, alunos e funcionários das escolas, enfatizando por meio de palestras seus direitos e deveres dentro do programa;
- (5) Por fim a elaboração do plano de segurança, que contempla o patrulhamento diferenciado e a interação com a comunidade, já que os policiais têm a função de aconselhar os alunos, mediar conflitos, assessorar os diretores das escolas e cobrir a área ao entorno da escola.

Este planejamento, porém, não prevê um modelo de ação para a escolha de uma rota em situação emergencial e não define qual rota o carro de patrulha deverá seguir em seu patrulhamento de rotina. Este trabalho busca resolver estas questões.

3.3 COLETA DE DADOS

Para levantar os dados necessários para a construção do modelo, uma entrevista não estruturada foi realizada, com os policiais do PPEC, para responder questões à respeito das características do patrulhamento escolar. As principais questões discutidas foram elencadas e estão apresentadas no quadro 6.

| Questões direcionadas ao PPEC |
|--|
| Como funciona o patrulhamento escolar? |
| Qual o público alvo? |
| Quais escolas atende? |
| Qual o horário de patrulhamento? |
| Como está dividida a equipe de policiais? |
| Quais os recursos que o BPEC possui? |
| Como estão divididas as regiões de patrulha? |
| Quais as restrições operacionais? |
| Existe algum procedimento padrão para situações de emergência? |
| Existe alguma rota de rotina definida? |

Quadro 6: Perguntas realizadas junto ao PPEC
Fonte: Autoria Própria.

Após recolher estas informações iniciou-se a coleta de dados para a construção da matriz de distância de entrada requerida pelo modelo proposto.

Foram então coletadas as distâncias entre todas as escolas. As distâncias foram obtidas pelo mapa rodoviário da cidade, com auxílio da ferramenta *Google Maps®*, a rota escolhida fora sempre a menor fornecida pelo aplicativo.

3.4 ETAPAS DA PESQUISA

A construção do modelo matemático seguiu uma sequência de etapas conforme apresentada na figura 4.

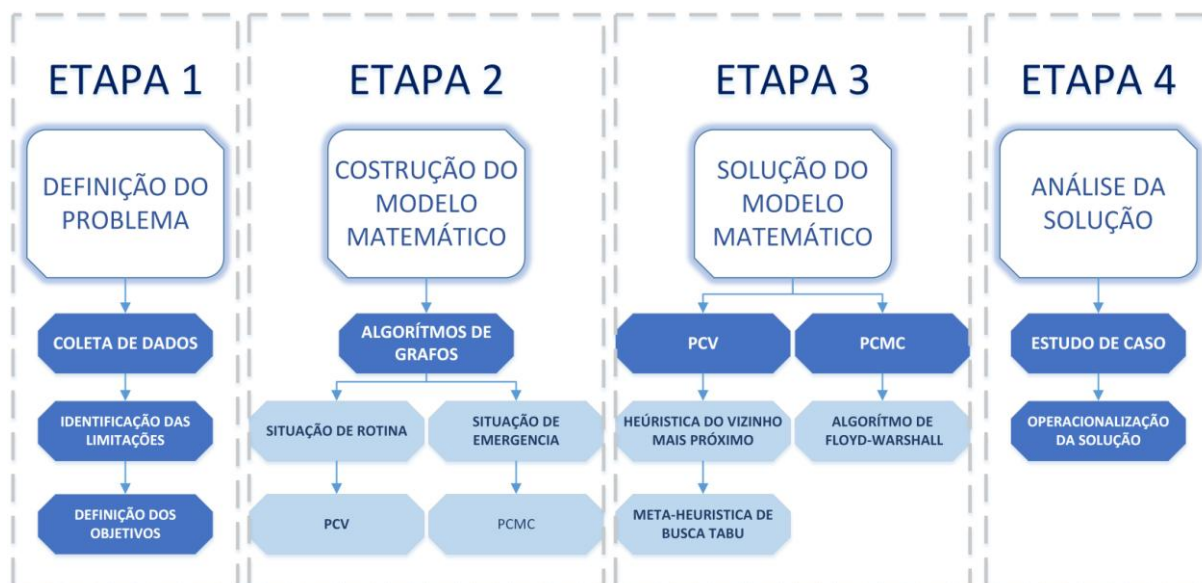


Figura 4: Etapas da pesquisa
Fonte: Autoria Própria.

Para uma melhor compreensão as etapas da pesquisa são descritas como segue:

Etapa 1: A Definição do Problema inicia-se com a coleta de dados a fim de contextualizar o problema, entender as limitações da patrulha escolar e determinar os objetivos do estudo.

Etapa 2: Construção do modelo matemático: O modelo proposto neste trabalho foi elaborado para atender as necessidades do PPEC, e considera as cidades nas quais o programa atua, que possuem recursos limitados, não podendo assim arcar com a implementação e aquisição de recursos tecnológicos.

Para tanto foram consideradas que uma cidade possui um número x de escolas, que geograficamente são divididas em k regiões, onde k é definido em função do número de carros disponíveis para atender o programa. O patrulhamento ocorre em um circuito fechado dentro de cada região. A rota deve ter início e fim na mesma escola, obedecendo os horários de início e término das aulas. Ocorrendo uma chamada de emergência o carro de patrulha poderá ser designado a atender uma escola fora da sua região de abrangência, contanto que a rota para chegar até está seja a menor.

Devido à natureza do problema a abordagem escolhida para a modelagem foi a de algoritmos de grafos. Deste modo, o patrulhamento de rotina foi tratado por

meio do Problema do Caixeiro Viajante (GUTIN; PUNNEN, 2002; APPLGATE, 2006; PUNNEN, 2007). Por outro lado, a situação de emergência foi considerada como uma instância do Problema do caminho mais curto (ROSENKRANTZ et al.,1977; GALLO; PALLOTTINO, 1988; CHERKASSKY et al., 1996) .

Etapa 3: Solução do modelo: O PCV foi solucionado por meio da heurística do vizinho mais próximo e meta- heurística de busca tabu. As rotas emergenciais do PCMC foram obtidas pela implementação do algoritmo de Floyd- Warshall.

A heurística do vizinho mais próximo e o algoritmo de Floyd- Warshall foram implementados em computador em linguagem C. A solução da meta-heurística de Busca tabu foi obtida via planilha eletrônica exceltabuTSP.xls (TAHA, 2011).

Etapa 4: Análise da solução: a última fase e engloba o estudo do caso particular da patrulha escolar e a transformação dos resultados computacionais em instruções operacionais inteligíveis para as pessoas que administram o programa de patrulha escolar.

4 APLICAÇÃO

Nessa etapa são apresentados os resultados obtidos através da aplicação do modelo proposto e uma simulação de uma situação hipotética de tomada de decisão.

4.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA ABORDADO

A fim de implementar e analisar o método proposto, o modelo foi aplicado na cidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná, onde o programa de patrulha escolar da cidade atende a 36 escolas por meio de 4 viaturas, em cada viatura encontram-se dois policiais do programa, que fazem o patrulhamento dentro de uma região específica, sendo que a rota é definida de acordo com a escolha dos policiais que compõe a viatura.

O horário de patrulhamento, corresponde ao horário de funcionamento das escolas que tem início às 07:30 horas e término às 11:30 horas. O programa possui recursos limitados, não podendo assim investir em um sistema moderno de atendimento a chamadas emergenciais. Desta forma as emergências de cada região são encaminhadas a viatura que atende a mesma, independente da sua localização

A divisão geográfica das regiões obedece o mapa de classificação territorial de bairros da cidade, e está restrita ao número de viaturas disponíveis(quatro viaturas = quatro regiões). A figura 5 apresenta o mapa da cidade com as escolas e suas respectivas regiões.

A figura 6 apresenta a matriz de distância de entrada com todas as menores distâncias entre as escolas (as distâncias estão apresentadas em quilômetros).. Esta matriz foi implementada no algoritmo de Floyd-Warshall para resolver o PCMC, e a partir dela quatro matrizes foram obtidas uma para cada região e utilizadas para resolução do PCV, conforme figura 7.

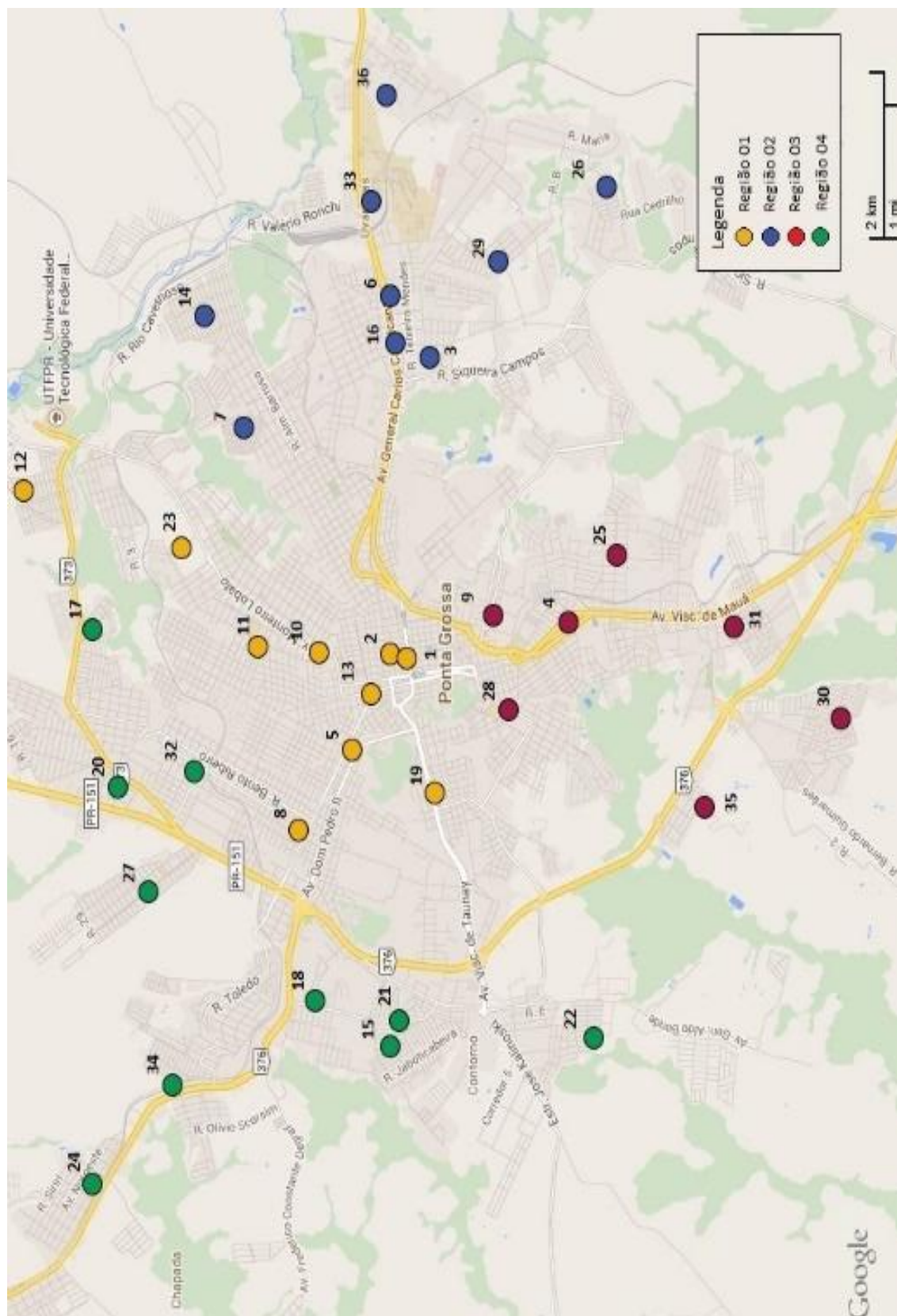


Figura 5 Mapa com as escolas e regiões atendidas pelo PPEC
Fonte: Google Maps.

| Região 1 | | | | | | | | | | | | |
|----------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|--|--|
| | 1 | 2 | 5 | 8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 19 | 23 | | |
| 1 | 999 | 0,55 | 2,1 | 3,4 | 1,4 | 2,4 | 6,8 | 1,2 | 2 | 3,9 | | |
| 2 | 0,45 | 999 | 1,8 | 3,1 | 1,1 | 2,1 | 6,5 | 0,9 | 2,1 | 3,6 | | |
| 5 | 1,8 | 1,6 | 999 | 1,4 | 1,5 | 2,2 | 9 | 0,85 | 2 | 3,9 | | |
| 8 | 3 | 3 | 1,3 | 999 | 2,5 | 3,4 | 7,9 | 2,1 | 3,3 | 5,3 | | |
| 10 | 1,7 | 1,1 | 1,5 | 2,8 | 999 | 1,1 | 4,8 | 1,2 | 3,1 | 2,5 | | |
| 11 | 2,5 | 2,2 | 2,4 | 3,4 | 1,1 | 999 | 5 | 2,3 | 4,2 | 1,8 | | |
| 12 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 7,7 | 5,4 | 4,7 | 999 | 6,5 | 10,9 | 3,4 | | |
| 13 | 0,95 | 0,8 | 0,85 | 2,4 | 1,4 | 2,5 | 6,8 | 999 | 2 | 3,9 | | |
| 19 | 1,9 | 1,5 | 1,8 | 3,3 | 3,3 | 4,1 | 8,6 | 2,7 | 999 | 5,7 | | |
| 23 | 3,9 | 3,6 | 3,9 | 5,2 | 2,5 | 1,9 | 3,5 | 3,6 | 5,6 | 999 | | |

| Região 2 | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|
| | 3 | 6 | 7 | 14 | 16 | 26 | 29 | 33 | 36 | | | |
| 3 | 999 | 1,8 | 3,6 | 4,6 | 0,6 | 4,7 | 2,5 | 2,3 | 4,3 | | | |
| 6 | 1,8 | 999 | 2,5 | 3,6 | 1,8 | 6,2 | 4,5 | 3,5 | 5,5 | | | |
| 7 | 3,7 | 2,8 | 999 | 1,7 | 3 | 7,2 | 4,9 | 3,9 | 5,9 | | | |
| 14 | 4,9 | 3,9 | 1,7 | 999 | 4,2 | 7,9 | 5,6 | 3,4 | 5,4 | | | |
| 16 | 0,8 | 2,3 | 3 | 5 | 999 | 5 | 2,5 | 1,7 | 3,7 | | | |
| 26 | 4,5 | 5,8 | 8,3 | 7,9 | 5 | 999 | 2,2 | 4,6 | 4,5 | | | |
| 29 | 2,5 | 4,1 | 4,9 | 5,7 | 2,7 | 2,2 | 999 | 2,4 | 4,4 | | | |
| 33 | 2,4 | 3,3 | 4 | 3,4 | 2,1 | 4,8 | 2,5 | 999 | 2,1 | | | |
| 36 | 4,5 | 5,3 | 6 | 5,4 | 4,1 | 4,5 | 4,5 | 2,3 | 999 | | | |

| Região 3 | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|--|--|
| | 4 | 9 | 25 | 28 | 30 | 31 | 35 | | | | | |
| 4 | 999 | 1,4 | 1,6 | 2 | 5,3 | 3 | 6,6 | | | | | |
| 9 | 2,5 | 999 | 2,5 | 1,5 | 6,6 | 4,4 | 8 | | | | | |
| 25 | 1 | 2,3 | 999 | 3,2 | 4,4 | 2,1 | 5,6 | | | | | |
| 28 | 2 | 1,5 | 2,7 | 999 | 6 | 3,8 | 6,2 | | | | | |
| 30 | 4,9 | 6,7 | 4,6 | 6,1 | 999 | 3 | 3,5 | | | | | |
| 31 | 2,4 | 4 | 2 | 3,8 | 3 | 999 | 4,2 | | | | | |
| 35 | 5,2 | 7 | 4,8 | 6,4 | 3,3 | 3,2 | 999 | | | | | |

| Região 4 | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----|------|-----|-----|-----|------|------|-----|-----|-----|--|--|
| | 15 | 17 | 18 | 20 | 21 | 22 | 24 | 27 | 32 | 34 | | |
| 15 | 999 | 8,2 | 1,5 | 6 | 0,5 | 3,6 | 5,8 | 5,6 | 5,6 | 5 | | |
| 17 | 8,1 | 999 | 7 | 2,3 | 8,3 | 10,3 | 10,5 | 4,5 | 3,5 | 9,7 | | |
| 18 | 1,3 | 6,8 | 999 | 4,9 | 1,3 | 4,3 | 4,4 | 4,5 | 4,5 | 3,8 | | |
| 20 | 6,2 | 2,3 | 5,1 | 999 | 6,3 | 8,5 | 8,6 | 2,5 | 1,8 | 7,7 | | |
| 21 | 0,6 | 8 | 1,3 | 6 | 999 | 3,3 | 5,8 | 5,6 | 5,6 | 5 | | |
| 22 | 3,8 | 10,8 | 4,8 | 8,7 | 3,4 | 999 | 9,3 | 8,4 | 8,4 | 8,4 | | |
| 24 | 7,4 | 10,2 | 6,3 | 8,2 | 7,4 | 10,8 | 999 | 7,8 | 7,8 | 1,8 | | |
| 27 | 5,7 | 6,2 | 4,6 | 4,2 | 5,9 | 7,8 | 8,1 | 999 | 3,9 | 7,3 | | |
| 32 | 5,9 | 3,7 | 4,8 | 1,6 | 5,9 | 8,2 | 8,3 | 2,2 | 999 | 7,5 | | |
| 34 | 5,6 | 8,3 | 4,5 | 6,4 | 5,6 | 9,3 | 1,8 | 6 | 6 | 999 | | |

Figura 7: Matriz de distância entre as escolas para cada uma das regiões
Fonte: Autoria Própria.

4.2 RESULTADOS DO PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE

A tabela 1 apresenta as rotas de rotina e distância para cada região obtidas após a implementação da heurística do vizinho mais próximo e meta-heurística de busca tabu. O tempo de ciclo de cada rota de rotina foi determinado por meio da velocidade média de deslocamento (40 km/hora) e da distância da rota.

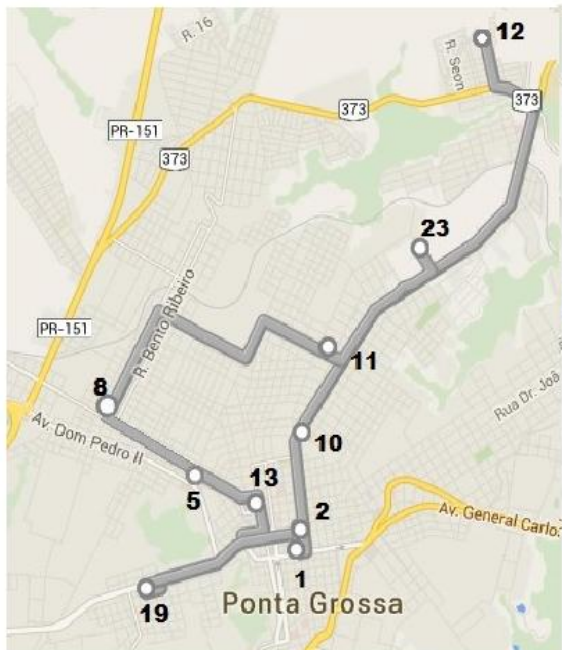
Tabela 1: Rotas de patrulhamento de rotina determinadas pela heurística do vizinho mais próximo e meta-heurística de Busca Tabu

| Região | Nº de Escolas | Sequência da rota | Distância (km) | Tempo (min) |
|--------|---------------|--|----------------|-------------|
| 1 | 10 | 5 → 13 → 19 → 2 → 1 → 10 → 12 → 23 → 11 → 8 → 5 | 2,1 | 32 |
| 2 | 9 | 16 → 3 → 6 → 7 → 14 → 33 → 36 → 26 → 29 → 16 | 2,17 | 33 |
| 3 | 7 | 30 → 31 → 25 → 4 → 9 → 28 → 35 → 30 | 1,84 | 28 |
| 4 | 10 | 32 → 20 → 17 → 27 → 22 → 21 → 15 → 18 → 24 → 34 → 32 | 3,39 | 51 |

Fonte: Autoria Própria

A representação das rotas ótimas de rotina resultantes da meta-heurística de Busca tabu para cada região estão apresentadas na figura 8.

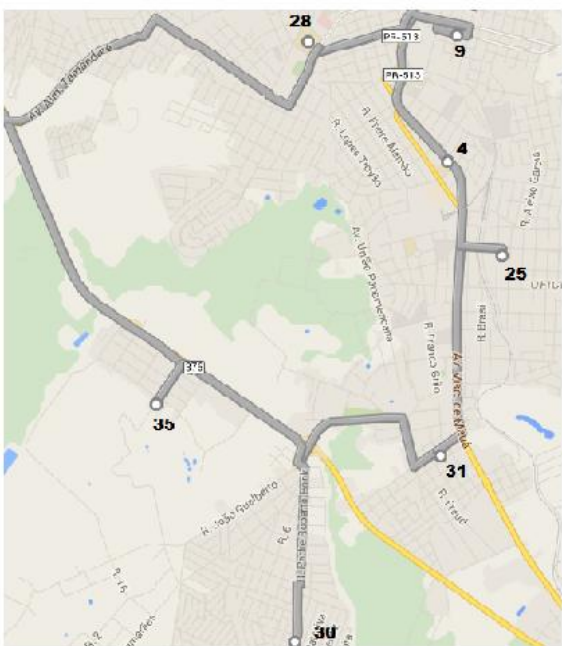
ROTA REGIÃO 01



ROTA REGIÃO 02



ROTA REGIÃO 03



ROTA REGIÃO 04

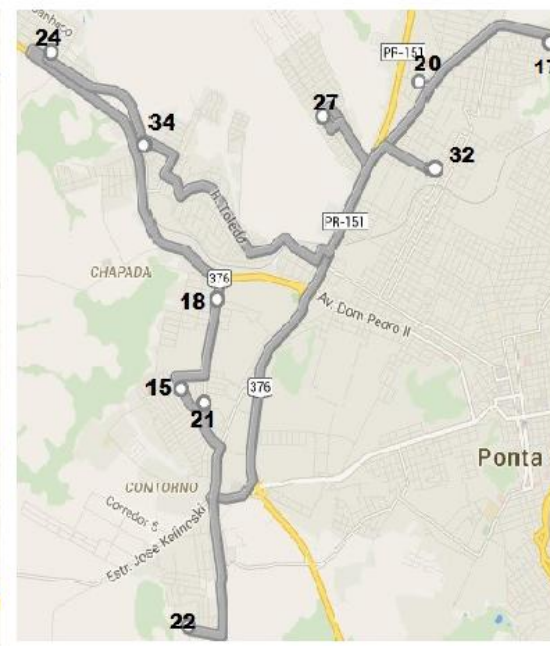


Figura 8: Rotas das regiões
Fonte: Google Maps.

4.3 RESULTADOS DO PROBLEMA DO CAMINHO MAIS CURTO

A matriz de distância D e a matriz de sequência S resultantes da implementação do algoritmo de *Floyd-Warshall* estão apresentadas nas figuras 9 e 10, respectivamente. A matriz sequência S define o trajeto que o carro de patrulha deverá adotar para, a partir da posição (escola) atual, chegar até a escola onde está ocorrendo a emergência, e a matriz de distância D informa a distância total do trajeto em quilômetros.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-----|-----|
| 1 | - | 0,55 | 4,3 | 3,2 | 2,05 | 2,7 | 4,3 | 3,4 | 1,5 | 1,4 | 2,4 | 6,2 | 1,2 | 5,5 | 6,7 | 3,8 | 7,65 | 5,95 | 2 | 6,3 | 6,4 | 6,7 | 3,9 | 9,6 | 3,4 | 8,4 | 6,3 | 1,8 | 6,3 | 7,1 | 4,8 | 4,7 | 5,5 | 8,8 | 8 | 7,5 | | |
| 2 | 0,45 | - | 4,2 | 3,4 | 1,75 | 2,6 | 3,9 | 3,1 | 1,9 | 1,1 | 2,1 | 5,9 | 0,9 | 5,1 | 6,4 | 4,2 | 7,35 | 5,6 | 2,1 | 6 | 6,1 | 6,9 | 3,6 | 9,3 | 3,7 | 8,5 | 6 | 2,2 | 6,7 | 7,5 | 5,1 | 4,4 | 5,8 | 8,5 | 8,4 | 7,9 | | |
| 3 | 4,7 | 4,5 | - | 6,2 | 5,75 | 1,8 | 3,6 | 7,1 | 4,8 | 4,8 | 5,1 | 8,8 | 4,9 | 4,6 | 10,7 | 0,6 | 10,7 | 9,65 | 6,5 | 9 | 10,3 | 10,7 | 6,9 | 13,35 | 5,2 | 4,7 | 9,9 | 6 | 2,5 | 9,5 | 7,3 | 7,7 | 2,3 | 12,5 | 10,8 | 4,3 | | |
| 4 | 2,9 | 3 | 6,2 | - | 4 | 4,6 | 6,5 | 5,4 | 1,4 | 4 | 4,9 | 8,8 | 3,2 | 7,3 | 8,5 | 5,8 | 9,6 | 7,9 | 4 | 8,5 | 8 | 7,4 | 6,5 | 11,6 | 1,6 | 7,4 | 8,3 | 2 | 6,9 | 5,3 | 3 | 6,9 | 7,5 | 10,7 | 6,6 | 9,5 | | |
| 5 | 1,8 | 1,6 | 5,7 | 4,4 | - | 4,15 | 5,05 | 1,4 | 3,3 | 1,5 | 2,2 | 6,3 | 0,85 | 6,25 | 5,2 | 5,65 | 5,6 | 3,9 | 2 | 4,6 | 5,2 | 6,8 | 3,9 | 7,6 | 4,7 | 10,05 | 4,6 | 2,8 | 7,95 | 8,35 | 6,05 | 3 | 7,15 | 6,8 | 8,1 | 9,15 | | |
| 6 | 3,15 | 2,7 | 1,8 | 5,8 | 3,95 | - | 2,5 | 5,3 | 3,8 | 3 | 3,3 | 7,8 | 3,1 | 3,6 | 8,9 | 1,8 | 9,5 | 7,85 | 4,7 | 7,2 | 8,5 | 9,5 | 5,1 | 11,55 | 6,1 | 6,2 | 8,1 | 4,5 | 4,3 | 9,8 | 7,5 | 5,9 | 3,5 | 10,7 | 10,7 | 5,5 | | |
| 7 | 4 | 3,9 | 3,7 | 6,9 | 4,8 | 2,8 | - | 6,2 | 5 | 3,8 | 3,7 | 5,9 | 4 | 1,7 | 9,8 | 3 | 7,7 | 8,7 | 5,8 | 7,6 | 10,6 | 5,1 | 12,4 | 7,2 | 7,1 | 8,5 | 5,6 | 4,9 | 10,9 | 8,6 | 6,3 | 3,9 | 11,6 | 11,8 | 5,9 | | | |
| 8 | 3 | 2,9 | 7 | 5,6 | 1,3 | 5,4 | 6,3 | - | 4,5 | 2,5 | 3,4 | 7,3 | 2,1 | 7,5 | 4,3 | 6,7 | 5,6 | 3 | 3,3 | 3,5 | 4,3 | 6,5 | 5 | 6,8 | 5,9 | 11,3 | 3,2 | 4 | 9,2 | 9,6 | 7,3 | 1,9 | 8,4 | 5,9 | 8,1 | 10,4 | | |
| 9 | 2 | 2,1 | 5,1 | 2,5 | 3,45 | 3,5 | 5,1 | 4,8 | - | 3 | 4,1 | 7,8 | 2,6 | 6,3 | 8,1 | 4,8 | 9,05 | 7,35 | 4 | 7,9 | 7,5 | 7,2 | 5,5 | 11 | 2,5 | 7,2 | 7,8 | 1,5 | 5,6 | 6,6 | 4,4 | 6,3 | 6,5 | 10,2 | 7,7 | 8,5 | | |
| 10 | 1,55 | 1,1 | 4,8 | 4,5 | 1,5 | 3,3 | 4,2 | 2,8 | 3 | - | 1,1 | 4,8 | 1,2 | 5,5 | 6,7 | 4,5 | 7 | 5,4 | 3,1 | 4,9 | 6,7 | 7,9 | 2,5 | 9,1 | 4,8 | 9 | 5,5 | 3,1 | 7 | 8,6 | 6,2 | 3,3 | 6,2 | 8,3 | 9,3 | 8,2 | | |
| 11 | 2,5 | 2,2 | 4,8 | 5,6 | 2,4 | 3 | 3,9 | 3,4 | 4 | 1,1 | - | 5 | 2,3 | 5,1 | 7,6 | 4,8 | 6,2 | 6,3 | 4,2 | 3,9 | 7,6 | 9 | 1,8 | 10 | 5,9 | 9,1 | 4,8 | 4,2 | 7,3 | 9,6 | 7,2 | 2,6 | 6,4 | 9,2 | 10,4 | 8,5 | | |
| 12 | 6,8 | 6,5 | 8,9 | 9,9 | 6,8 | 7,7 | 5,9 | 7,5 | 8,3 | 5,4 | 4,7 | - | 6,5 | 4,2 | 10,5 | 8,4 | 2,9 | 9,4 | 8,5 | 4,6 | 10,5 | 12,8 | 3,4 | 12,9 | 10,2 | 11,1 | 6,8 | 8,5 | 8,9 | 13,9 | 11,6 | 5,8 | 6,7 | 12,1 | 14 | 8,7 | | |
| 13 | 0,95 | 0,8 | 4,9 | 3,6 | 0,85 | 3,3 | 4,2 | 2,25 | 2,45 | 1,4 | 2,5 | 6,2 | - | 5,4 | 6,05 | 4,6 | 6,45 | 4,75 | 2 | 5,45 | 6,05 | 6,8 | 3,9 | 8,45 | 3,9 | 9,2 | 5,3 | 2 | 7,1 | 7,5 | 5,2 | 3,85 | 6,3 | 7,65 | 8,2 | 8,3 | | |
| 14 | 5,4 | 5,2 | 4,9 | 6,6 | 6,25 | 3,9 | 1,7 | 7,5 | 6,4 | 5,5 | 5,1 | 4,2 | 5,4 | - | 11,45 | 4,2 | 6,1 | 10,15 | 7,3 | 7,8 | 11,3 | 12,1 | 5,6 | 13,85 | 8,2 | 7,8 | 9,9 | 7,2 | 5,6 | 11,9 | 9,6 | 7,7 | 3,4 | 13 | 13,2 | 5,4 | | |
| 15 | 6,3 | 5,9 | 10,1 | 8,7 | 4,8 | 8,5 | 9,8 | 3,8 | 7,8 | 6,3 | 7 | 10,3 | 5,6 | 11 | - | 10,1 | 8,2 | 1,5 | 4,4 | 6 | 0,5 | 3,6 | 8,7 | 5,8 | 9,3 | 14,4 | 5,6 | 6,8 | 12,6 | 8,3 | 8,1 | 5,6 | 11,6 | 5 | 5,7 | 13,7 | | |
| 16 | 5,45 | 5 | 0,8 | 7 | 6,25 | 2,3 | 3 | 7,6 | 5,6 | 5,3 | 5,6 | 8,3 | 5,4 | 4,7 | 11,2 | - | 10,2 | 10,15 | 7 | 9,5 | 10,8 | 10,1 | 7,4 | 13,85 | 6 | 4,7 | 10,4 | 6,8 | 2,5 | 10,3 | 8,1 | 8,2 | 1,7 | 13 | 11,6 | 3,7 | | |
| 17 | 8,15 | 7,7 | 10,7 | 10,5 | 6,5 | 9,3 | 7,7 | 5,2 | 9,6 | 6,8 | 6,3 | 2,9 | 7,2 | 6,1 | 8,1 | 10,3 | - | 7 | 8,4 | 2,3 | 8,3 | 10,3 | 5,3 | 10,5 | 10,8 | 13 | 4,5 | 9,2 | 10,8 | 14,5 | 12,4 | 3,5 | 8,5 | 9,7 | 11,6 | 10,6 | | |
| 18 | 5,4 | 5,2 | 9,3 | 8 | 3,6 | 7,75 | 8,65 | 2,7 | 6,9 | 5,1 | 5,8 | 9,1 | 4,45 | 9,85 | 1,3 | 9,05 | 6,8 | - | 5,2 | 4,9 | 1,3 | 4,3 | 7,5 | 4,4 | 8,3 | 13,85 | 4,5 | 6,4 | 11,55 | 9,2 | 9,2 | 4,5 | 10,75 | 3,8 | 6,7 | 12,75 | | |
| 19 | 1,9 | 1,5 | 5,7 | 4,3 | 1,8 | 4,1 | 5,4 | 3,2 | 3,4 | 2,6 | 3,6 | 7,4 | 2,4 | 6,6 | 4,8 | 5,7 | 7,4 | 5,6 | - | 6,1 | 4,4 | 4,8 | 5,1 | 9,2 | 4,9 | 10 | 6,4 | 2,6 | 8,2 | 7,8 | 5,9 | 4,5 | 7,2 | 8,1 | 7,3 | 9,3 | | |
| 20 | 6 | 5,9 | 9,3 | 8,8 | 4,7 | 7,5 | 8,3 | 3,4 | 7,5 | 5,1 | 4,5 | 4,6 | 5,4 | 7,8 | 6,2 | 9,3 | 2,3 | 5,1 | 6,6 | - | 6,3 | 8,5 | 5,4 | 8,6 | 9,1 | 13,6 | 2,5 | 7,1 | 11,8 | 12,2 | 10,6 | 1,8 | 10,3 | 7,7 | 9,7 | 12,3 | | |
| 21 | 5,8 | 5,4 | 9,6 | 8,2 | 4,8 | 8 | 9,3 | 3,8 | 7,3 | 6,3 | 7 | 10,3 | 5,6 | 10,5 | 0,6 | 9,6 | 8 | 1,3 | 3,9 | 6 | - | 3,3 | 8,7 | 5,7 | 8,8 | 13,9 | 5,6 | 6,5 | 12,1 | 7,9 | 7,9 | 5,6 | 11,1 | 5 | 5,4 | 13,2 | | |
| 22 | 6,8 | 6,4 | 10,6 | 7,6 | 6,7 | 9 | 10,3 | 6,8 | 7,1 | 7,5 | 8,5 | 12,3 | 7,3 | 11,5 | 3,8 | 10,8 | 4,7 | 4,9 | 8,7 | 3,4 | - | 3,9 | 9,1 | 8,3 | 14,1 | 8,4 | 5,6 | 12,7 | 8 | 7,9 | 8,4 | 12,1 | 8,4 | 5,4 | 14,2 | | | |
| 23 | 3,9 | 3,6 | 6,5 | 7 | 3,9 | 4,9 | 5,8 | 5,2 | 5,4 | 2,5 | 1,9 | 3,5 | 3,6 | 5,6 | 9,1 | 6,2 | 5,3 | 7,8 | 5,6 | 5,2 | 9,1 | 10,4 | - | 11,5 | 7,3 | 10,5 | 5,8 | 6,7 | 11 | 8,7 | 3,6 | 7,9 | 10,6 | 11,8 | 9,9 | | | |
| 24 | 9,75 | 9,3 | 13,5 | 12,4 | 8 | 11,9 | 13,05 | 7,1 | 11,2 | 9,5 | 10,2 | 12,3 | 8,85 | 14,25 | 7,4 | 13,45 | 10,1 | 6,3 | 9,7 | 8,2 | 7,4 | 10,6 | 11,4 | - | 12,7 | 17,8 | 7,8 | 10,8 | 15,95 | 14,8 | 14,05 | 7,8 | 15,1 | 1,8 | 12,3 | 17,15 | | |
| 25 | 3,9 | 3,8 | 5,2 | 1 | 5 | 5 | 7,4 | 6,4 | 2,3 | 4,9 | 5,9 | 9,7 | 4,2 | 8,3 | 9,5 | 5,8 | 10,6 | 8,9 | 5 | 9,1 | 9 | 8,3 | 7,4 | 12,6 | - | 5,8 | 9,3 | 3 | 5,3 | 4,4 | 2,1 | 7,5 | 7,5 | 11,7 | 5,6 | 9,5 | | |
| 26 | 8,6 | 8,4 | 4,5 | 6,7 | 9,75 | 5,8 | 7,1 | 11,3 | 7,2 | 8,8 | 9,1 | 11,2 | 8,9 | 7,9 | 14,7 | 4,9 | 13 | 13,65 | 10,5 | 13 | 14,3 | 14 | 10,9 | 17,35 | 5,7 | - | 13,9 | 8,4 | 2,2 | 10,1 | 7,8 | 11,7 | 4,6 | 16,5 | 11,2 | 4,5 | | |
| 27 | 6,1 | 5,9 | 10 | 8,7 | 4,3 | 8,45 | 9,35 | 3,1 | 7,6 | 5,6 | 5,6 | 8,5 | 5,15 | 10,35 | 5,7 | 9,75 | 6,2 | 4,6 | 6,3 | 4,2 | 5,9 | 7,8 | 7,4 | 8,1 | 9 | 14,35 | - | 7,1 | 12,25 | 11,7 | 10,35 | 3,9 | 11,45 | 7,3 | 9,2 | 13,45 | | |
| 28 | 1,9 | 2 | 5,7 | 2 | 3,05 | 3,9 | 5,9 | 4,4 | 1,5 | 3 | 4 | 7,8 | 2,2 | 7,1 | 6,6 | 5,6 | 8,65 | 6,95 | 2,6 | 7,6 | 6 | 5,7 | 5,5 | 10,65 | 2,7 | 8,5 | 7,5 | - | 9,8 | 7,5 | 3,9 | 2,4 | 14,8 | 11 | 4,4 | | | |
| 29 | 7 | 6,8 | 2,5 | 6,4 | 8,05 | 4,1 | 4,9 | 9,4 | 5,7 | 7,1 | 7,4 | 9 | 7,2 | 5,7 | 13 | 2,7 | 10,8 | 11,95 | 8,8 | 11,3 | 12,6 | 12,5 | 9,2 | 15,65 | 5,4 | 2,2 | 12,2 | 6,8 | - | 9,8 | 7,5 | 3,9 | 2,4 | 14,8 | 11 | 4,4 | | |
| 30 | 7,8 | 7,8 | 9,8 | 4,9 | 8,9 | 9,5 | 11,4 | 10,2 | 6,3 | 8,9 | 9,8 | 13,7 | 8,1 | 12,2 | 8,8 | 10,4 | 14,1 | 9,8 | 8,4 | 12,1 | 8,5 | 8 | 11,4 | 14,2 | 4,6 | 10,4 | 11,7 | 6,1 | 9,9 | - | 3 | 11,7 | 12,1 | 13,5 | 3,5 | 14,1 | | |
| 31 | 5,3 | 5,3 | 7,2 | 2,4 | 6,35 | 7 | 8,9 | 7,7 | 3,8 | 6,4 | 7,3 | 11,2 | 5,5 | 9,7 | 8,5 | 7,8 | 11,95 | 9,5 | 6,4 | 10,9 | 8,2 | 7,7 | 8,9 | 13,9 | 2 | 7,8 | 10,7 | 3,8 | 7,3 | 3 | - | 9,3 | 9,5 | 13,1 | 4,2 | 11,5 | | |
| 32 | 4,65 | 4,2 | 7,6 | 7 | 3 | 5,8 | 6,5 | 1,7 | 6,1 | 3,3 | 2,8 | 5,8 | 3,7 | 4,7 | 4,9 | 1,6 | 5,9 | 8,2 | 3,6 | 8,3 | 7,3 | 11,9 | 2,2 | 5,7 | 10,1 | 11,2 | 8,9 | - | 9,2 | 7,5 | 9,4 | 11,3 | | | | | | |
| 33 | 6,2 | 6 | 2,6 | 8,6 | 7,2 | 3,3 | 4 | 8,6 | 7,1 | 6,2 | 6,6 | 6,7 | 6,4 | 3,4 | 12,1 | 2,1 | 8,6 | 11,1 | 7,9 | 10,3 | 11,8 | 12,2 | 8,1 | 14,8 | 7,6 | 4,7 | 11,4 | 7,8 | 2,5 | 11,9 | 9,7 | 9,2 | - | 14 | 13,2 | 2,1 | | |
| 34 | 8 | 7,8 | 11,9 | 10,6 | 6,2 | 10,35 | 11,25 | 5,3 | 9,5 | 7,7 | 8,4 | 10,7 | 7,05 | 12,45 | 5,6 | 11,65 | 8,3 | 4,5 | 8,2 | 6,4 | 5,6 | 8,8 | 9,6 | 1,8 | 10,9 | 16,25 | 6 | 9 | 14,15 | 13 | 12,25 | 6 | 13,35 | - | 10,5 | 15,35 | | |
| 35 | 8,1 | 7,8 | 10 | 5,2 | 8 | 9,8 | 11,7 | 8,1 | 6,6 | 8,9 | 9,9 | 13,7 | 8,4 | 12,5 | 6,8 | 10,6 | 12 | 7,7 | 6,3 | 10 | 6,4 | 5,9 | 11,4 | 12,1 | 4,8 | 10,6 | 9,6 | 6,4 | 10,1 | 3,3 | 3,2 | 9,6 | 12,3 | 11,4 | - | 14,3 | | |
| 36 | 8,2 | 8 | 4,5 | 10,7 | 9,25 | 5,3 | 6 | 10,6 | 9,1 | 8,3 | 8,6 | 8,8 | 8,4 | 5,4 | 14,2 | 4,1 | 10,6 | 13,15 | 10 | 12,3 | 13,8 | 14,2 | 10,2 | 16,85 | 9,7 | 4,5 | 13,4 | 9,8 | 4,5 | 13,4 | 9,8 | 4,5 | 13,4 | 9,8 | 4,5 | 13,4 | 9,8 | 4,5 |

Figura 9: Matriz de distância D gerada pelo algoritmo de Floyd-Warshall
Fonte: Autoria Própria.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-----|------|
| 1 | - | 0,55 | 4,3 | 3,2 | 2,05 | 2,7 | 4,3 | 3,4 | 1,5 | 1,4 | 2,4 | 6,2 | 1,2 | 5,5 | 6,7 | 3,8 | 7,65 | 5,95 | 2 | 6,3 | 6,4 | 6,7 | 3,9 | 9,6 | 3,4 | 8,4 | 6,3 | 1,8 | 6,3 | 7,1 | 4,8 | 4,7 | 5,5 | 8,8 | 8 | 7,5 | | |
| 2 | 0,45 | - | 4,2 | 3,4 | 1,75 | 2,6 | 3,9 | 3,1 | 1,9 | 1,1 | 2,1 | 5,9 | 0,9 | 5,1 | 6,4 | 4,2 | 7,35 | 5,6 | 2,1 | 6 | 6,1 | 6,9 | 3,6 | 9,3 | 3,7 | 8,5 | 6 | 2,2 | 6,7 | 7,5 | 5,1 | 4,4 | 5,8 | 8,5 | 8,4 | 7,9 | | |
| 3 | 4,7 | 4,5 | - | 6,2 | 5,75 | 1,8 | 3,6 | 7,1 | 4,8 | 4,8 | 5,1 | 8,8 | 4,9 | 4,6 | 10,7 | 0,6 | 10,7 | 9,85 | 6,5 | 9 | 10,3 | 10,7 | 6,9 | 13,35 | 5,2 | 4,7 | 9,9 | 6 | 2,5 | 9,5 | 7,3 | 7,7 | 2,3 | 12,5 | 10,8 | 4,3 | | |
| 4 | 2,9 | 3 | 6,2 | - | 4 | 4,6 | 6,5 | 5,4 | 1,4 | 4 | 4,9 | 8,8 | 3,2 | 7,3 | 8,5 | 5,8 | 9,6 | 7,9 | 4 | 8,5 | 8 | 7,4 | 6,5 | 11,6 | 1,6 | 7,4 | 8,3 | 2 | 6,9 | 5,3 | 3 | 6,9 | 7,5 | 10,7 | 6,6 | 9,5 | | |
| 5 | 1,8 | 1,6 | 5,7 | 4,4 | - | 4,15 | 5,05 | 1,4 | 3,1 | 1,5 | 2,2 | 6,3 | 0,85 | 6,25 | 5,2 | 5,45 | 5,6 | 3,9 | 2 | 4,6 | 5,2 | 6,8 | 3,9 | 7,6 | 4,7 | 10,05 | 4,6 | 2,8 | 7,95 | 8,35 | 6,05 | 3 | 7,15 | 6,8 | 8,1 | 9,15 | | |
| 6 | 3,15 | 2,7 | 1,8 | 5,8 | 3,95 | - | 2,5 | 5,3 | 3,8 | 3 | 3,3 | 7,8 | 3,1 | 3,6 | 8,9 | 1,8 | 9,5 | 7,85 | 4,7 | 7,2 | 8,5 | 9,5 | 5,1 | 11,55 | 6,1 | 6,2 | 8,1 | 4,5 | 4,3 | 9,8 | 7,5 | 5,9 | 3,5 | 10,7 | 10,7 | 5,5 | | |
| 7 | 4 | 3,9 | 3,7 | 6,9 | 4,8 | 2,8 | - | 6,2 | 5 | 3,8 | 3,7 | 5,9 | 4 | 1,7 | 9,8 | 3 | 7,7 | 8,7 | 5,8 | 7,6 | 9,6 | 10,6 | 5,1 | 12,4 | 7,2 | 7,1 | 8,5 | 5,6 | 4,9 | 10,9 | 8,6 | 6,3 | 3,9 | 11,6 | 11,8 | 5,9 | | |
| 8 | 3 | 2,9 | 7 | 5,6 | 1,3 | 5,4 | 6,3 | - | 4,5 | 2,5 | 3,4 | 7,3 | 2,1 | 7,5 | 4,3 | 6,7 | 5,6 | 3 | 3,3 | 3,5 | 4,3 | 6,5 | 5 | 6,8 | 5,9 | 11,3 | 3,2 | 4 | 9,2 | 9,6 | 7,3 | 1,9 | 8,4 | 5,9 | 8,1 | 10,4 | | |
| 9 | 2 | 2,1 | 5,1 | 2,5 | 3,45 | 3,5 | 5,1 | 4,8 | - | 3 | 4,1 | 7,8 | 2,6 | 6,3 | 8,1 | 4,8 | 9,05 | 7,35 | 4 | 7,9 | 7,5 | 7,2 | 5,5 | 11 | 2,5 | 7,2 | 7,8 | 1,5 | 5,6 | 6,6 | 4,4 | 6,3 | 6,5 | 10,2 | 7,7 | 8,5 | | |
| 10 | 1,55 | 1,1 | 4,8 | 4,5 | 1,5 | 3,3 | 4,2 | 2,8 | 3 | - | 1,1 | 4,8 | 1,2 | 5,5 | 6,7 | 4,5 | 7 | 5,4 | 3,1 | 4,9 | 6,7 | 7,9 | 2,5 | 9,1 | 4,8 | 9 | 5,5 | 3,1 | 7 | 8,6 | 6,2 | 3,3 | 6,2 | 8,3 | 9,3 | 8,2 | | |
| 11 | 2,5 | 2,2 | 4,8 | 5,6 | 2,4 | 3 | 3,9 | 3,4 | 4 | 1,1 | - | 5 | 2,3 | 5,1 | 7,6 | 4,8 | 6,2 | 6,3 | 4,2 | 3,9 | 7,6 | 9 | 1,8 | 10 | 5,9 | 9,1 | 4,8 | 4,2 | 7,3 | 9,6 | 7,2 | 2,6 | 6,4 | 9,2 | 10,4 | 8,5 | | |
| 12 | 6,8 | 6,5 | 8,9 | 9,9 | 6,8 | 7,7 | 5,9 | 7,5 | 8,3 | 5,4 | 4,7 | - | 6,5 | 4,2 | 10,5 | 8,4 | 2,9 | 9,4 | 8,5 | 4,6 | 10,5 | 12,8 | 3,4 | 12,9 | 10,2 | 11,1 | 6,8 | 8,5 | 8,9 | 13,9 | 11,6 | 5,8 | 6,7 | 12,1 | 14 | 8,7 | | |
| 13 | 0,95 | 0,8 | 4,9 | 3,6 | 0,85 | 3,3 | 4,2 | 2,25 | 2,45 | 1,4 | 2,5 | 6,2 | - | 5,4 | 6,05 | 4,6 | 6,45 | 4,75 | 2 | 5,45 | 6,05 | 6,8 | 3,9 | 8,45 | 3,9 | 9,2 | 5,3 | 2 | 7,1 | 7,5 | 5,2 | 3,85 | 6,3 | 7,65 | 8,2 | 8,3 | | |
| 14 | 5,4 | 5,2 | 4,9 | 6,6 | 6,25 | 3,9 | 1,7 | 7,5 | 6,4 | 5,5 | 5,1 | 4,2 | 5,4 | - | 11,85 | 4,2 | 6,1 | 10,15 | 7,3 | 7,8 | 11,3 | 12,1 | 5,6 | 13,85 | 8,2 | 7,8 | 9,9 | 7,2 | 5,6 | 11,9 | 9,6 | 7,7 | 3,4 | 13 | 13,2 | 5,4 | | |
| 15 | 6,3 | 5,9 | 10,1 | 8,7 | 4,8 | 8,5 | 9,8 | 3,8 | 7,8 | 6,3 | 7 | 10,3 | 5,6 | 11 | - | 10,1 | 8,2 | 1,5 | 4,4 | 6 | 0,5 | 3,6 | 8,7 | 5,8 | 9,3 | 14,4 | 5,6 | 6,8 | 12,6 | 8,3 | 8,1 | 5,6 | 11,6 | 5 | 5,7 | 13,7 | | |
| 16 | 5,45 | 5 | 0,8 | 7 | 6,25 | 2,3 | 3 | 7,6 | 5,6 | 5,3 | 5,6 | 8,3 | 5,4 | 4,7 | 11,2 | - | 10,2 | 10,15 | 7 | 9,5 | 10,8 | 10,1 | 7,4 | 13,85 | 6 | 4,7 | 10,4 | 6,8 | 2,5 | 10,3 | 8,1 | 8,2 | 1,7 | 13 | 11,6 | 3,7 | | |
| 17 | 8,15 | 7,7 | 10,7 | 10,5 | 6,5 | 9,3 | 7,7 | 5,2 | 9,6 | 6,8 | 6,3 | 2,9 | 7,2 | 6,1 | 8,1 | 10,3 | - | 7 | 8,4 | 2,3 | 8,3 | 10,3 | 5,3 | 10,5 | 10,8 | 13 | 4,5 | 9,2 | 10,8 | 14,5 | 12,4 | 3,5 | 8,5 | 9,7 | 11,6 | 10,6 | | |
| 18 | 5,4 | 5,2 | 9,3 | 8 | 3,6 | 7,75 | 8,65 | 2,7 | 6,9 | 5,1 | 5,8 | 9,1 | 4,45 | 9,85 | 1,3 | 9,05 | 6,8 | - | 5,2 | 4,9 | 1,3 | 4,3 | 7,5 | 4,4 | 8,3 | 13,65 | 4,5 | 6,4 | 11,55 | 9,2 | 9,2 | 4,5 | 10,75 | 3,8 | 6,7 | 12,75 | | |
| 19 | 1,9 | 1,5 | 5,7 | 4,3 | 1,8 | 4,1 | 5,4 | 3,2 | 3,4 | 2,6 | 3,6 | 7,4 | 2,4 | 6,6 | 4,8 | 5,7 | 7,4 | 5,6 | - | 6,1 | 4,6 | 4,8 | 5,1 | 9,2 | 4,9 | 10 | 6,6 | 2,6 | 8,2 | 7,8 | 5,9 | 4,5 | 7,2 | 8,1 | 7,3 | 9,3 | | |
| 20 | 6 | 5,9 | 9,3 | 8,8 | 4,7 | 7,5 | 8,3 | 3,4 | 7,5 | 5,1 | 4,5 | 4,6 | 5,4 | 7,8 | 6,2 | 9,3 | 2,3 | 5,1 | 6,6 | - | 6,3 | 8,5 | 5,4 | 8,6 | 9,1 | 13,6 | 9,1 | 13,6 | 2,5 | 7,1 | 11,8 | 12,2 | 10,6 | 1,8 | 10,3 | 7,7 | 9,7 | 12,3 |
| 21 | 5,8 | 5,4 | 9,6 | 8,2 | 4,8 | 8 | 9,3 | 3,8 | 7,3 | 6,3 | 7 | 10,3 | 5,6 | 10,5 | 0,6 | 9,6 | 8 | 1,3 | 3,9 | 6 | - | 3,3 | 8,7 | 5,7 | 8,8 | 13,9 | 5,6 | 6,5 | 12,1 | 7,9 | 7,9 | 5,6 | 11,1 | 5 | 5,4 | 13,2 | | |
| 22 | 6,8 | 6,4 | 10,8 | 7,6 | 6,7 | 9 | 10,3 | 6,8 | 7,1 | 7,5 | 8,5 | 12,3 | 7,3 | 11,5 | 3,8 | 10,6 | 10,8 | 4,7 | 4,9 | 8,7 | 3,4 | - | 10 | 9,1 | 8,3 | 14,1 | 8,4 | 5,6 | 12,7 | 8 | 7,9 | 8,4 | 12,1 | 8,4 | 5,4 | 14,2 | | |
| 23 | 3,9 | 3,6 | 6,5 | 7 | 3,9 | 4,9 | 5,8 | 5,2 | 5,4 | 2,5 | 1,9 | 3,5 | 3,6 | 5,6 | 9,1 | 6,2 | 5,3 | 7,8 | 5,6 | 5,2 | 9,1 | 10,4 | - | 11,5 | 7,3 | 10,5 | 5,8 | 5,6 | 8,7 | 11 | 8,7 | 3,6 | 7,9 | 10,6 | 11,8 | 9,9 | | |
| 24 | 9,75 | 9,3 | 13,5 | 12,4 | 8 | 11,9 | 13,05 | 7,1 | 11,2 | 9,5 | 10,2 | 12,5 | 8,85 | 14,25 | 7,4 | 13,85 | 10,1 | 6,3 | 9,7 | 8,2 | 7,4 | 10,6 | 11,4 | - | 12,7 | 17,8 | 7,8 | 10,8 | 15,95 | 14,8 | 14,05 | 7,8 | 15,1 | 1,8 | 12,3 | 17,15 | | |
| 25 | 3,9 | 3,8 | 5,2 | 1 | 5 | 7,4 | 6,4 | 2,3 | 4,9 | 5,9 | 9,7 | 4,2 | 8,3 | 9,5 | 5,8 | 10,6 | 8,9 | 5 | 9,1 | 9 | 8,3 | 7,4 | 12,6 | - | 5,8 | 9,3 | 3 | 5,3 | 4,4 | 2,1 | 7,5 | 7,5 | 11,7 | 5,6 | 9,5 | | | |
| 26 | 8,6 | 8,4 | 4,5 | 6,7 | 9,75 | 5,8 | 7,1 | 11,1 | 7,2 | 8,8 | 9,1 | 11,2 | 8,9 | 7,9 | 14,7 | 4,9 | 13 | 13,65 | 10,5 | 13 | 14,3 | 14 | 10,9 | 17,35 | 5,7 | - | 13,9 | 8,4 | 2,2 | 10,1 | 7,8 | 11,7 | 4,6 | 16,5 | 11,2 | 4,5 | | |
| 27 | 6,1 | 5,9 | 10 | 8,7 | 4,3 | 8,45 | 9,35 | 3,1 | 7,6 | 5,6 | 5,6 | 8,5 | 5,15 | 10,55 | 5,7 | 9,75 | 6,2 | 4,6 | 6,3 | 4,2 | 5,9 | 7,8 | 7,4 | 8,1 | 9 | 14,35 | - | 7,1 | 12,25 | 11,7 | 10,35 | 3,9 | 11,45 | 7,3 | 9,2 | 13,45 | | |
| 28 | 1,9 | 2 | 5,7 | 2 | 3,05 | 3,9 | 5,9 | 4,4 | 1,5 | 3 | 4 | 7,8 | 2,2 | 7,1 | 6,6 | 5,6 | 8,85 | 6,95 | 2,6 | 7,6 | 6 | 5,7 | 5,5 | 10,85 | 2,7 | 8,5 | 7,5 | - | 7,1 | 6 | 3,8 | 6 | 7,3 | 9,8 | 6,2 | 9,3 | | |
| 29 | 7 | 6,8 | 2,5 | 6,4 | 8,05 | 4,1 | 4,9 | 9,4 | 5,7 | 7,1 | 7,4 | 9 | 7,2 | 5,7 | 13 | 2,7 | 10,8 | 11,95 | 8,8 | 11,3 | 12,6 | 12,5 | 9,2 | 15,65 | 5,4 | 2,2 | 12,2 | 6,8 | - | 9,8 | 7,5 | 10 | 2,4 | 14,8 | 11 | 4,4 | | |
| 30 | 7,8 | 7,8 | 9,8 | 4,9 | 8,9 | 9,5 | 11,4 | 10,2 | 6,3 | 8,9 | 9,8 | 13,7 | 8,1 | 12,2 | 8,8 | 10,4 | 14,1 | 9,8 | 8,4 | 12,1 | 8,5 | 8 | 11,4 | 14,2 | 4,6 | 10,4 | 11,7 | 6,1 | 9,9 | - | 3 | 11,7 | 12,1 | 13,5 | 3,5 | 14,1 | | |
| 31 | 5,3 | 5,3 | 7,2 | 2,4 | 6,35 | 7 | 8,9 | 7,7 | 3,8 | 6,4 | 7,3 | 11,2 | 5,5 | 9,7 | 8,5 | 7,8 | 11,95 | 9,5 | 6,4 | 10,9 | 8,2 | 7,7 | 8,9 | 13,9 | 2 | 7,8 | 10,7 | 3,8 | 7,3 | 3 | - | 9,3 | 9,5 | 13,1 | 4,2 | 11,5 | | |
| 32 | 4,85 | 4,2 | 7,6 | 7 | 3 | 5,8 | 6,5 | 1,7 | 6,1 | 3,3 | 2,8 | 5,8 | 3,7 | 7,9 | 5,9 | 7,6 | 3,7 | 4,7 | 4,9 | 1,6 | 5,9 | 8,2 | 3,6 | 8,3 | 7,3 | 11,9 | 2,2 | 5,7 | 10,1 | 11,2 | 8,9 | - | 9,2 | 7,5 | 9,4 | 13,3 | | |
| 33 | 6,2 | 6 | 2,4 | 8,6 | 7,2 | 3,3 | 4 | 8,6 | 7,1 | 6,2 | 6,6 | 6,7 | 6,4 | 3,4 | 12,1 | 2,1 | 8,6 | 11,1 | 7,9 | 10,3 | 11,8 | 12,2 | 8,1 | 14,8 | 7,6 | 4,7 | 11,4 | 7,8 | 2,5 | 11,9 | 9,7 | 9,2 | - | 14 | 13,2 | 2,1 | | |
| 34 | 8 | 7,8 | 11,9 | 10,6 | 6,2 | 10,35 | 11,25 | 5,3 | 9,5 | 7,7 | 8,4 | 10,7 | 7,05 | 12,45 | 5,6 | 11,65 | 8,3 | 4,5 | 8,2 | 6,4 | 5,6 | 8,8 | 9,6 | 1,8 | 10,9 | 16,25 | 6 | 9 | 14,15 | 13 | 12,25 | 6 | 13,35 | - | 10,5 | 15,35 | | |
| 35 | 8,1 | 7,8 | 10 | 5,2 | 8 | 9,8 | 11,7 | 8,1 | 6,6 | 8,9 | 9,9 | 13,7 | 8,4 | 12,5 | 6,8 | 10,6 | 12 | 7,7 | 6,3 | 10 | 6,4 | 5,9 | 11,4 | 12,1 | 4,8 | 10,6 | 9,6 | 6,4 | 10,1 | 3,3 | 3,2 | 9,6 | 12,3 | 11,4 | - | 14,3 | | |
| 36 | 8,2 | 8 | 4,5 | 10,7 | 9,25 | 5,3 | 6 | 10,6 | 9,1 | 8,3 | 8,6 | 8,8 | 8,4 | 5,4 | 14,2 | 4,1 | 10,6 | 13,15 | 10 | 12,3 | 13,8 | 14,2 | 10,2 | 16,85 | 9,7 | 4,5 | 13,4 | 9,8 | 4,5 | 14 | 11,8 | 11,2 | 2,3 | 16 | 15,3 | - | | |

Figura 10: Matriz de sequência S gerada pelo algoritmo de Floyd-Warshall
Fonte: Autoria Própria.

4.4 PROBLEMA DE PATRULHAMENTO DE ROTINA

As estratégias de roteamento utilizadas neste trabalho foram adotadas buscando aumentar a segurança nas escolas e diminuir o tempo de resposta em situações emergenciais. Para isso, este trabalho primeiramente definiu as rotas de rotina e na sequência otimizou todas as possíveis rotas em situação de emergência.

Com a rota de rotina definida e otimizada, o trabalho da patrulha torna-se mais efetivo, permitindo que os policiais permaneçam por um tempo reduzido em rota, restando um tempo maior para atender as escolas.

O tempo de atuação da patrulha em uma ronda é composto pelo tempo necessário para o carro de patrulha percorrer todas as escolas (T_R , tabela 1) e o tempo que a patrulha permanece estacionada em frente às escolas (T_P). O período que a patrulha permanecerá em frente às escolas e o número de vezes que a patrulha percorrerá todo o circuito fechado (ronda) podem variar conforme a região. Considerando estes parâmetros tem-se que para uma dada região o tempo total de parada T_P de um veículo de patrulha em uma escola será dado pela equação 01:

$$T_P = (k - nT_R)/nN_e \quad (\text{equação 01})$$

onde :

k = *Tempo total de funcionamento da patrulha*

n = *número de rondas*

T_R = *Tempo de rota*

N_e = *Número de escolas*

A tabela 2 mostra os tempos de parada em função do números de ronda para cada região para $k = 300$ minutos (início das aulas às 07:30 horas, término às 11:30 horas). Deste modo, é possível estabelecer uma política de patrulha escolar, ou seja, um maior número de rondas ou um tempo maior de permanência nas escolas, conforme a necessidade atual de cada região.

Tabela 2: Tempos de parada em cada escola variando o número de rondas

| | Nº Escolas | T_R | n | T_P |
|----------|------------|-------|-----|-------|
| Região 1 | 10 | 32 | 1 | 26,8 |
| | | | 2 | 11,8 |
| | | | 3 | 6,8 |
| | | | 4 | 4,3 |
| | | | 5 | 2,8 |
| | | | 6 | 1,8 |
| | | | 7 | 1,08 |
| | | | 8 | 0,55 |
| | | | 9 | 0,13 |
| Região 2 | 9 | 33 | 1 | 29 |
| | | | 2 | 13 |
| | | | 3 | 7 |
| | | | 4 | 4,5 |
| | | | 5 | 3 |
| | | | 6 | 1,5 |
| | | | 7 | 1 |
| | | | 8 | 0,5 |
| | | | 9 | 0,03 |
| Região 3 | 7 | 28 | 1 | 38,5 |
| | | | 2 | 17 |
| | | | 3 | 10 |
| | | | 4 | 6,5 |
| | | | 5 | 4,5 |
| | | | 6 | 3 |
| | | | 7 | 2 |
| | | | 8 | 1 |
| | | | 9 | 0,5 |
| | | | 10 | 0,2 |
| Região 4 | 10 | 51 | 1 | 24,9 |
| | | | 2 | 9,9 |
| | | | 3 | 4,9 |
| | | | 4 | 2,4 |
| | | | 5 | 0,9 |

Fonte: Autoria Própria.

Este modelo é aplicável para cidades que possuem restrições tecnológicas e financeiras, pois é uma solução barata e eficaz para a realidade. Outra vantagem deste modelo é a realimentação dos dados de entrada: ocorrendo mudança em algum trecho do percurso, uma modificação pode ser realizada na matriz de entrada sem grandes esforços.

4.5 PROBLEMA DO PATRULHAMENTO EMERGENCIAL

Visto a grande importância da resposta eficiente ao atendimento de emergência e as proporções que estão tomando os atos de violência nas escolas, este trabalho sugere um procedimento de melhoria para a resposta destas situações. No momento em que a central de atendimento da patrulha escolar atende uma chamada de uma escola V_e , ela:

- (1) **verifica** a localização atual dos carros patrulha que estão realizando a ronda de rotina;
- (2) **determina** a distância entre os veículos e a escola (matriz D);
- (3) **seleciona** o veículo mais próximo a escola e;
- (4) **define** a rota a ser seguida (matriz S).

A seguir, três casos hipotéticos são descritos e analisados para uma maior compreensão da proposta.

Caso 1) Quatro viaturas paradas

Ocorrendo uma emergência na escola 7, a central de atendimento verifica que todas as viaturas encontram-se estacionadas em frente às escolas: 8, 21, 28, 3.

Por meio da matriz de distâncias D , determina-se as distâncias entre a escola que fez a chamada e as escolas onde as viaturas encontram-se. Conforme apresentado na tabela 3.

Tabela 3: Determinação das distâncias entre veículos e a escola 7 por meio da matriz de distâncias de Floyd-Warshall.

| Veículo | Rota | Distância (km) |
|---------|------|----------------|
| 1 | 8→7 | 6,3 |
| 2 | 3→7 | 3,6 |
| 3 | 28→7 | 5,9 |
| 4 | 21→7 | 9,3 |

Fonte: Autoria Própria.

Logo, a rota de menor de distância (3,6 km) é a rota com origem na escola 3 e destino na escola 7, e o atendimento será realizado pelo veículo 2. A matriz de sequência (figura 10) fornece a rota completa a ser seguida: [3 → 7]. Neste exemplo pode-se observar que a escola 7 está localizada na mesma região que a escola 3, e o veículo designado a atender a escola é o veículo da própria região, o que não acontece em todos os casos, como pode-se verificar a seguir.

Caso 2) Quatro viaturas em movimento

Neste caso, a central de atendimento atende a chamada da escola 21 e verifica que todos os carros estão em trânsito. Para tanto, deve ser considerada a menor distância da escola de origem do veículo até a escola 21 e entre a escola de destino e a escola 21.

As viaturas encontram-se: viatura 1 em trânsito da escola 11 para a escola 8, viatura 2 entre a escola 26 e 29; a viatura 3 entre a escola 4 e 9 e a viatura 4 entre a escola 20 e 17. Desta forma, a central pode determinar por meio da matriz de distâncias D a menor distância entre a escola que fez a chamada e as respectivas escolas, conforme apresentado na tabela 4.

Tabela 4: Determinação das distâncias entre veículos e a escola 21 por meio da matriz de distâncias de Floyd-Warshall.

| Veículo | Rota | Distância (km) |
|---------|---------|----------------|
| 1 | 11 → 21 | 7,6 |
| | 8 → 21 | 4,3 |
| 2 | 26 → 21 | 14,3 |
| | 29 → 21 | 12,6 |
| 3 | 4 → 21 | 8,0 |
| | 9 → 21 | 7,5 |
| 4 | 20 → 21 | 6,3 |
| | 17 → 21 | 8,3 |

Fonte: Autoria Própria.

Logo, a rota de menor de distância (4,3 km) é a rota com origem na escola 8 e destino na escola 21, e o atendimento será realizado pelo veículo 1. A matriz de sequência (figura 10) fornece a rota completa a ser seguida: [8 → 18 → 21].

Sendo as escolas 20 e 17 da mesma região que a escola 21, porém localizadas geograficamente mais distantes que a escola 8. Diferente do exemplo anterior, a rota mínima para atendimento da situação de emergência é executada por um veículo que executa ronda de rotina em uma região diferente da qual fez a chamada.

Desta forma, conhecendo a posição dos veículos de patrulhamento e por meio do uso das matrizes D e S do algoritmo de Floyd-Warshall, a central de atendimento da polícia pode responder a uma chamada de emergência tendo à disposição todos os veículos de patrulha, não se limitando portanto somente aos veículos que executam a ronda de rotina em cada região. O que para este caso, por exemplo, representa um ganho no tempo de atendimento.

Caso 3) Uma viatura em trânsito e três paradas

Para atender uma chamada na escola 19, a central de polícia verifica que um dos carros está em trânsito da escola 31 para a escola 25 e os outros encontram-se estacionados nas escolas 12, 24 e 33. Por meio da matriz de distâncias D (figura 9)

determina-se as distâncias entre a escola que fez a chamada e as outras escolas, como mostrado na tabela 05.

Tabela 5: Determinação das distâncias entre veículos e a escola 19 por meio da matriz de distâncias de Floyd-Warshall

| Veículo | Rota | Distância (km) |
|---------|---------|----------------|
| 1 | 12 → 19 | 8,5 |
| 2 | 33 → 19 | 7,9 |
| 3 | 31 → 19 | 6,4 |
| | 25 → 19 | 5,0 |
| 4 | 24 → 19 | 9,7 |

Fonte: Autoria Própria.

Logo, a rota de menor de distância (5,0 km) é a rota com origem na escola 25 e destino na escola 19, e o atendimento será realizado pelo veículo 1. A matriz de sequência (figura 10) fornece a rota completa a ser seguida: [25 → 4 → 19]. Neste exemplo, assim como no anterior, pode-se observar que a escola 19 está localizada na mesma região que a escola 12, e que o veículo de patrulha 2 é o responsável pela patrulha de rotina nessa região. Contudo, a distância entre as escolas 12 e 19 é maior que a distância que o veículo 1, que executa a ronda de rotina em outra região, necessita para atender a emergência.

Como demonstrado o modelo proposto sugere um forma rápida e simples de encaminhar o atendimento emergencial, que traz ganhos de eficiência para o processo, diminuindo o tempo de resposta para o atendimento de uma ocorrência.

O modelo ainda certifica que a escolha da viatura seja a melhor possível, o que implica também na redução dos custos com o deslocamento do veículo (combustível e depreciação). Pois como visto, tanto na situação 2 quanto na 3, se o encaminhamento fosse realizado como atualmente, o veículo escolhido para atender a emergência seria o que atende a região, precisando do dobro da distância para realizar o atendimento aumentando então o tempo de resposta juntamente com o custo para atender a chamada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo a definição de rotas de patrulhamento de rotina e rotas emergenciais para o Programa de patrulha escolar

Foi possível criar um modelo matemático para auxiliar o programa de patrulha escolar, otimizando as rotas de rotina, com auxílio da heurística do vizinho mais próximo, que gerou uma solução inicial de boa qualidade e da meta-heurística de Busca tabu que foi capaz de aprimorar esta solução inicial. Bons percursos foram obtidos para que os carros de patrulha possam efetuar o patrulhamento preventivo de forma ágil e eficiente de acordo com a necessidade de cada região.

O modelo ainda apresenta rotas otimizadas para situações emergenciais a partir da implementação do algoritmo de Floyd-Warshall. O mesmo é capaz de auxiliar o tomador de decisão na escolha de uma melhor rota para o atendimento de emergências, visto que em uma situação de emergência a redução do tempo de resposta pode significar muito, sendo que em determinados casos a ocorrência pode estar ainda acontecendo e a presença de um policial pode ser imprescindível.

Obtiveram-se resultados satisfatórios, que atenderam ao esperado para a aplicação realizada na cidade de Ponta Grossa, PR. Neste, foram definidas as rotas de rotina e otimizadas as rotas de emergência e então sugeridas ao programa de patrulha escolar da cidade

O diferencial do presente trabalho está em apresentar uma solução aplicável tanto para o PPEC em estudo, quanto para demais programas de cidades com características próximas e com restrição de recursos e investimentos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No decorrer do desenvolvimento deste estudo foram identificadas algumas oportunidades para o desenvolvimento de futuras pesquisas relacionadas ao tema deste trabalho. Entre elas se destacam:

- Levantar o número de ocorrências das escolas, para então utilizar na programação das rotas de rotina, e determinar a permanência das viaturas nas escolas de acordo com esses dados;

- Utilizar uma abordagem matemática para dividir as regiões de uma forma mais balanceada, o que pode vir a reduzir as rotas;
- Ampliar a aplicação do modelo proposto para outros serviços de emergência, desenvolvendo e aprimorando as restrições, tornando um modelo genericamente aplicável.

REFERÊNCIAS

ADAM, J. M.; SCOTUZZI, C. A. S. Violence and Conflict in Schools: Analysis of Proposals based on Restorative Justice in Brazil. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 106, p. 3312-3319, 2013.

AINI, A.; SALEHIPOUR, A. Speeding up the Floyd–Warshall algorithm for the cycled shortest path problem. **Applied Mathematics Letters**, v. 25, n. 1, p. 1-5, 2012.

APPLEGATE, D. L. **The traveling salesman problem: a computational study**. Princeton University Press, 2006.

ALTUN, Sadegül Akbaba; BAKER, Özgür Erdur. School violence: a qualitative case study. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 2, n. 2, p. 3165-3169, 2010.

AMMERMUELLER, A. Violence in European schools: A widespread phenomenon that matters for educational production. **Labour Economics**, v. 19, n. 6, p. 908-922, 2012.

ARAÚJO, R. R. **Um modelo de resolução para o problema de roteirização em arcos com restrição de capacidade**. 2003. 177 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

ARROYO, J.E.C., ARMENTANO, V.A. Genetic Local Search for Multi-Objective Flowshop Scheduling Problems. **European Journal of Operational Research**, 167, 3, p. 717-738, 2005.

ARTIGUES, C.; HUGUET, M. J.; GUEYE, F.; SCHETTINI, F.; DEZOU, L. State-based accelerations and bidirectional search for bi-objective multi-modal shortest paths. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 27, p. 233-259, 2013.

AZI, N.; GENDREAU, M.; POTVIN, J. An exact algorithm for a single-vehicle routing problem with time windows and multiple routes. **European journal of operational research**, v. 178, n. 3, p. 755-766, 2007.

AZI, N.; GENDREAU, M.; POTVIN, J. An exact algorithm for a vehicle routing problem with time windows and multiple use of vehicles. **European Journal of Operational Research**, v. 202, n. 3, p. 756-763, 2010.

BABEL, L. Flight path planning for unmanned aerial vehicles with landmark-based visual navigation. **Robotics and Autonomous Systems**, v. 62, n. 2, p. 142-150, 2014.

BAKER-HENNINGHAM, H., MEEKS-GARDNER, J., CHANG, S., & WALKER, S. Experiences of violence and deficits in academic achievement among urban primary school children in Jamaica. **Child abuse & neglect**, v. 33, n. 5, p. 296-306, 2009.

BANG-JENSEN, J.; GUTIN, G. Theory, algorithms and applications. **Springer Monographs in Mathematics, Springer-Verlag London Ltd., London**, 2007.

BELLMAN, R. On a routing problem. **Quarterly Applied Mathematics**, v.15, n.1, p.87–90, 1958.

BENEVIDES, P. F. **Aplicação de heurísticas e metaheurísticas para o problema do caixeiro viajante em um problema real de roteirização de veículos**. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) –Programa de Pós- Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011

BIGRAS, L.; GAMACHE, M.; SAVARD, G. The time-dependent traveling salesman problem and single machine scheduling problems with sequence dependent setup times. **Discrete Optimization**, v. 5, n. 4, p. 685-699, 2008.

BODIN et al. Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of Art. **Computers and Operations Research**, v. 10, n. 2, p. 63-211, 1983.

BOLLOBÁS, B. **Modern graph theory**. Springer, 1998.

BOZKAYA, B.; ERKUT, e.; LAPORTE, G. A tabu search heuristic and adaptive memory procedure for political districting. **European Journal of Operational Research**, v. 144, n. 1, p. 12-26, 2003.

BROWN, B. Understanding and assessing school police officers: A conceptual and methodological comment. **Journal of Criminal Justice**, v. 34, n. 6, p. 591-604, 2006.

BRUNSTEIN KLOMEK, A.; MARROCCO, F.; KLEINMAN, M.; SCHONFELD, I. S.; GOULD, M. S. .Bullying, depression, and suicidality in adolescents. **Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry**, v. 46, n. 1, p. 40-49, 2007.

CADENA, C. H. G.; DE LA RUBIA, J. M.; ARMENTA, M. F.; VALDIVIA, J. A.; DÍAZ, H. L. Family and socio-demographic risk factors for psychopathy among prison inmates. **The European journal of psychology applied to legal context**, v. 4, n. 2, p. 119-134, 2012.

CASTRO, C. R. **A Patrulha Escolar Comunitária (PEC) como expressão da política de segurança pública brasileira da crise estrutural do capital**. 2013. 129 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, Paraná, 2013.

CHABRIER, A. Vehicle routing problem with elementary shortest path based column generation. **Computers & Operations Research**, v. 33, n. 10, p. 2972-2990, 2006.

CHAIKEN, Jan M.; DORMONT, Peter. A patrol car allocation model: Background. **Management Science**, v. 24, n. 12, p. 1280-1290, 1978.

CHAVES, A. A.; **Modelagem Exata e Heurística para Resolução do Problema do Caixeiro Viajante com Coleta de Prêmios**. Monografia (Bacharel Ciência da Computação). Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Computação. Ouro Preto, MG. 2003.

CHAWATHE, S. S. Organizing hot-spot police patrol routes. In: **Intelligence and Security Informatics**, 2007 IEEE. IEEE, . p. 79-86, 2007.

CHEN, J.; WEI, H.. School violence, social support and psychological health among Taiwanese junior high school students. **Child abuse & neglect**, v. 37, n. 4, p. 252-262, 2013.

CHEREJI, S. V.; PINTEA, S.; DAVID, D. The relationship of anger and cognitive distortions with violence in violent offenders' population: A meta-analytic review. **The European journal of psychology applied to legal context**, v. 4, n. 1, p. 59-77, 2012.

CHERKASSKY, B. V.; GOLDBERG, A. V.; RADZIK, T. Shortest paths algorithms: Theory and experimental evaluation. **Mathematical programming**, v. 73, n. 2, p. 129-174, 1996.

CORDEAU, J.; LAPORTE, G. A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem. **Transportation Research Part B: Methodological**, v. 37, n. 6, p. 579-594, 2003.

COSTA, C. S. DE A. G. **Problema do Caixeiro Viajante – Resolução e Depuração**. 2008. Dissertação (Mestrado em Matemática e Aplicações) – Faculdade de matemática, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2008.

CRAUSER, A.; MEHLHORN, K.; MEYER, U.; & SANDERS, P. A parallelization of Dijkstra's shortest path algorithm. In: **Mathematical Foundations of Computer Science 1998**. Springer Berlin Heidelberg, p. 722-731, 1998.

CRICK, N. R.; GROTPETER, J. K. Relational aggression, gender, and social-psychological adjustment. **Child development**, v. 66, n. 3, p. 710-722, 1995.

CUNHA, Claudio Barbieri. **Uma contribuição para o problema de roteirização de veículos com restrições operacionais**. 1997. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 1997.

CURTIN, Kevin M.; HAYSLETT-MCCALL, Karen; QIU, Fang. Determining optimal police patrol areas with maximal covering and backup covering location models. **Networks and Spatial Economics**, v. 10, n. 1, p. 125-145, 2010.

D'AMICO, S. J.; WANG, S. J.; BATTA, R.; RUMP, C. M. A simulated annealing approach to police district design. **Computers & Operations Research**, v. 29, n. 6, p. 667-684, 2002.

DANTZIG, G., FULKERSON, R., JOHNSON, S. Solution of a large-scale Traveling-Salesman Problem. **Journal of the operations research society of America**, v. 2, n. 4, p. 393-410, 1954.

DIJKSTRA, E. W. A note on two problems in connexion with graphs. **Numerische mathematik**, v. 1, n. 1, p. 269-271, 1959.

DU, L.; HE, R. Combining nearest neighbor search with tabu search for large-scale vehicle routing problem. **Physics Procedia**, v. 25, p. 1536-1546, 2012.

DUCHENNE, E.; LAPORTE, G.; SEMET, F. Branch-and-cut algorithms for the undirected m-Peripatetic Salesman Problem. **European journal of operational research**, v. 162, n. 3, p. 700-712, 2005.

DUCHENNE, E.; LAPORTE, G.; SEMET, F. The undirected m-peripatetic salesman problem: Polyhedral results and new algorithms. **Operations research**, v. 55, n. 5, p. 949-965, 2007.

DUMITRIU, C. School Violence around the World: A Social Phenomenon. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 92, p. 299-308, 2013.

EISENBRAUN, Kristin D. Violence in schools: Prevalence, prediction, and prevention. **Aggression and violent behavior**, v. 12, n. 4, p. 459-469, 2007.

EVANS, E.; HAWTON, K; RODHAM, K. Factors associated with suicidal phenomena in adolescents: a systematic review of population-based studies. **Clinical psychology review**, v. 24, n. 8, p. 957-979, 2004.

ESPER, M. C. E. **Políticas Públicas do Estado do Paraná: A Violência nas Escolas Públicas e a Ação da Patrulha Escolar Comunitária**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, Paraná, 2007.

FEILLET, D.; DEJAX, P.; GENDREAU, M.; GUEGUEN, C. An exact algorithm for the elementary shortest path problem with resource constraints: Application to some vehicle routing problems. **Networks**, v. 44, n. 3, p. 216-229, 2004.

FLOYD, R. W. Algorithm 97: shortest path. **Communications of the ACM**, v. 5, n. 6, p. 345, 1962.

FORD, L. R. Jr. Network flow theory. **Technical Report P-923, RAND**, Santa Monica, CA, Aug, 14 1956.

FRAGA, M.C.P. **Uma metodologia híbrida Colônia de Formigas - Busca Tabu Reconexão por Caminhos para resolução do Problema de Roteamento de Veículos com Janelas de Tempo**. 2006, 69 f. Dissertação(Mestrado em Modelagem Matemática e Computacional – Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional. Centro Federal Tecnológico de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2006.

GAREY, M. R. e JOHNSON, D. S. **Computers and Intractability. A Guide to the Theory of NP-Completeness**. Freeman, New York, 1979.

GALLO, G.; PALLOTTINO, S. Shortest path algorithms. **Annals of Operations Research**, v. 13, n. 1, p. 1-79, 1988.

GEROLIMINIS, N.; KARLAFTIS, M.; STATHOPOULOS, A.; KEPAPTSOGLOU, K. A districting and location model using spatial queues. In: **TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM**. 2004.

GINI, G.; POZZOLI, T. Association between bullying and psychosomatic problems: A meta-analysis. **Pediatrics**, v. 123, n. 3, p. 1059-1065, 2009.

GLOVER F, LAGUNA M. **Tabu search**. Boston: Kluwer Academic Publishers; 1997.

GOLDBARG, M. C. & LUNA, H. P., **Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos**, 3ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2000.

GOLDBERG, A. V.; RADZIK, T. A heuristic improvement of the Bellman-Ford algorithm. **Applied Mathematics Letters**, v. 6, n. 3, p. 3-6, 1993.

GONÇALVES, L. A. O.; SPOSITO, M. P. Iniciativas públicas de redução da violência escolar no Brasil. **Revista Cadernos de Pesquisa**, São Paulo, n.115, p. 101-138, mar. 2002.

GUTIN, G.; PUNNEN, A. P. (Ed.). **The traveling salesman problem and its variations**. Springer, 2002.

GREEN, L. A multiple dispatch queueing model of police patrol operations. **Management Science**, v. 30, n. 6, p. 653-664, 1984.

GREEN, L.; KOLESAR, P. Testing the validity of a queueing model of police patrol. **Management Science**, v. 35, n. 2, p. 127-148, 1989.

GROMICHO, J. A.; VAN HOORN, J. J.; SALDANHA-DA-GAMA, F.; TIMMER, G. T. Solving the job-shop scheduling problem optimally by dynamic programming. **Computers & Operations Research**, v. 39, n. 12, p. 2968-2977, 2012.

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. **Introdução à Pesquisa Operacional**. 8 ed., São Paulo: McGraw-Hill, 2006.

IAROCZINSKI, A. **A relação entre o espaço escolar e violência infanto-juvenil no contexto de ação do Programa da Patrulha escolar em Ponta Grossa-PR**. 2009. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa 2009.

JEQUESSENE, P M. **Modelos de Grafos em Estatística**. 2010. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

JENNINGS, W. G.; KHEY, D. N.; MASKALY, J.; DONNER, C. M. . Evaluating the relationship between law enforcement and school security measures and violent crime in schools. **Journal of Police Crisis Negotiations**, v. 11, n. 2, p. 109-124, 2011.

JENSSON, P.; KRISTINSDOTTIR, B. P.; GUNNARSSON, H. P. Optimal sequencing of tasks in an aluminium smelter casthouse. **Computers in industry**, v. 56, n. 2, p. 221-234, 2005.

JIANG, T; REN, G.; ZHAO, X. Evacuation Route Optimization based on Tabu Search Algorithm and Hill-climbing Algorithm. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 96, p. 865-872, 2013.

JIMÉNEZ-BARBERO, J. A., RUIZ-HERNÁNDEZ, J. A., LLOR-ESTEBAN, B., LLOR-ZARAGOZA, L., & PÉREZ GARCÍA, M. Efficacy of a brief intervention on attitudes to reduce school violence: A randomized clinical trial. **Children and Youth Services Review**, v. 35, n. 9, p. 1313-1318, 2013.

KESKIN, B. B.; LI, S. R.; STEIL, D.; SPILLER, S. . Analysis of an integrated maximum covering and patrol routing problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 48, n. 1, p. 215-232, 2012.

KIM, B.; JEONG, S. A comparison of algorithms for origin–destination matrix generation on real road networks and an approximation approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 56, n. 1, p. 70-76, 2009.

KONZEN, P. H. D. A.; FURTADO, J. C.; CARVALHO, C. W.; FERRÃO, M. F.; MOLZ, R. F.; BASSANI, I. A.; HÜNING, S. L. Otimização de métodos de controle de qualidade de fármacos usando algoritmo genético e busca tabu. **Pesquisa operacional**, v. 23, n. 1, p. 189-207, 2003.

KUO, P.; LORD, D.; WALDEN, T. D. Using geographical information systems to organize police patrol routes effectively by grouping hotspots of crash and crime data. **Journal of Transport Geography**, v. 30, p. 138-148, 2013.

LAPORTE, G. The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 59, n. 2, p. 231-247, 1992

LARSON, R. C. Approximating the performance of urban emergency service systems. **Operations Research**, v. 23, n. 5, p. 845-868, 1975.

Li, L.; Jiang, Z.; Duan, N.; Dong, W.; Hu, K.; Sun, W. . Police Patrol service optimization based on the spatial pattern of hotspots. In: **Service Operations, Logistics, and Informatics (SOLI), 2011 IEEE International Conference on**. IEEE, 2011. p. 45-50.

LIU, L.; YANG, J.; MU, H.; LI, X.; WU, F. Exact algorithms for multi-criteria multi-modal shortest path with transfer delaying and arriving time-window in urban transit network. **Applied Mathematical Modelling**, v. 38, n. 9, p. 2613-2629, 2014.

LÓPEZ, D.; LOZANO, A.. Techniques in Multimodal Shortest Path in Public Transport Systems. **Transportation Research Procedia**, v. 3, p. 886-894, 2014.

KLOZANO, A.; STORCHI, Gi. Shortest viable path algorithm in multimodal networks. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 35, n. 3, p. 225-241, 2001.

LUK, J. W.; WANG, J.; SIMONS-MORTON, B. G. The co-occurrence of substance use and bullying behaviors among US adolescents: Understanding demographic characteristics and social influences. **Journal of adolescence**, v. 35, n. 5, p. 1351-1360, 2012.

MARINHO, E. H.; OCHI, L. S.; DRUMMOND, L. M.; SOUZA, M. J. F.; SILVA, G. P. Busca Tabu aplicada ao Problema de Programação de Tripulações de ônibus Urbano. **XXXVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, v. 1, p. 1471-1482, 2004.

MELO, A.; BELCHIOR, M.; FURTADO, V. Analyzing police patrol routes by simulating the physical reorganization of agents. In: **Multi-Agent-Based Simulation VI**. Springer Berlin Heidelberg, p. 99-114. 2006.

MITCHELL, Phillip S. Optimal selection of police patrol beats. **The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science**, p. 577-584, 1972.

MOORE, E. F. The shortest path through a maze. In **Proceedings of an International Symposium on the Theory of Switching, Part II**, p. 285–292, 1959.

MONTANÉ, F. A. T. Um Algoritmo de Busca Tabu Adaptativo aplicado a Problemas de Roteamento de Veículos com Pedidos de Coleta e Entrega. **XXXVIII SBPO Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiânia**, 2006.

OLWEUS, Dan. Bullying at school: basic facts and effects of a school based intervention program. **Journal of child psychology and psychiatry**, v. 35, n. 7, p. 1171-1190, 1994.

PACHECO, J.; ALVAREZ, A.; CASADO, S.; GONZÁLEZ-VELARDE, J. L. A tabu search approach to an urban transport problem in northern Spain. **Computers & Operations Research**, v. 36, n. 3, p. 967-979, 2009.

PATTON, D. U.; WOOLLEY, M. E.; HONG, J. S. Exposure to violence, student fear, and low academic achievement: African American males in the critical transition to high school. **Children and Youth Services Review**, v. 34, n. 2, p. 388-395, 2012.

PEDRO, O.; SALDANHA, R.; CAMARGO, R. A Tabu Search Approach for the Prize Collecting Traveling Salesman Problem. **Electronic Notes in Discrete Mathematics**, v. 41, p. 261-268, 2013.

POLI, G. I.; PUREZA, V. Um algoritmo de busca tabu para o carregamento de contêineres com caixas idênticas. **Gestão da Produção**. São Carlos, v. 19, n. 2, p. 323-336, 2012.

PRIOTTO, E. P.; BONETI, L. W. Violência escolar: na escola, da escola e contra a escola. **Revista Diálogo Educacional**, v. 9, n. 26, p. 161-179, 2009.

PUNNEN, A. P. The traveling salesman problem: Applications, formulations and variations. In: **The traveling salesman problem and its variations**. Springer US, p. 1-28. 2007.

RAVINDRAN, A., FOOTE, B. L., BADIRU, A., LEEMIS, L., & WILLIAMS, L. Mechanized material handling systems design and routing. **Computers & industrial engineering**, v. 14, n. 3, p. 251-270, 1988.

REIS, D.; MELO, A.; COELHO, A. L.; FURTADO, V. GAPatrol: an evolutionary multiagent approach for the automatic definition of hotspots and patrol routes. In: **Advances in Artificial Intelligence-IBERAMIA-SBIA 2006**. Springer Berlin Heidelberg, p. 118-127, 2006.

REGO, C.; GAMBOA, D.; GLOVER, F.; OSTERMAN, C. Traveling salesman problem heuristics: leading methods, implementations and latest advances. **European Journal of Operational Research**, v. 211, n. 3, p. 427-441, 2011.

RENAUD, J.; LAPORTE, G.; BOCTOR, F. F. A tabu search heuristic for the multi-depot vehicle routing problem. **Computers & Operations Research**, v. 23, n. 3, p. 229-235, 1996.

ROTHLAUF, F. **Design of modern heuristics: principles and application**. Springer, 2011.

ROSA, R. S.; SILVA, A. C. L.; KONOWALENKO, F.; BENEVIDES, P. F. Aplicação de p-medianas para atendimento aos colégios estaduais por viaturas do Batalhão de Patrulha Escolar. In: **I Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção (CONBREPRO)**, Ponta Grossa, 2011.

ROSENKRANTZ, D. J.; STEARNS, R. E.; LEWIS, II, P M. An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. **SIAM journal on computing**, v. 6, n. 3, p. 563-581, 1977.

SANTOS, I. S. **Sistema em rede de informações sobre violência nos Estabelecimentos de ensino estadual do município da Iapa** – Paraná. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Pública) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SEVERNINI, E.; FIRPO, S. (2009). **The relationship between school violence and student proficiency**. Escola de Economia de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (Texto para Discussão, 236). Disponível em: <<http://www.eesp.fgv.br/>> Acesso em: 10 nov. 2014.

SHETTY, V. K.; SUDIT, M.; NAGI, R. Priority-based assignment and routing of a fleet of unmanned combat aerial vehicles. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 6, p. 1813-1828, 2008.

SPOSITO, M. P. Um breve balanço da pesquisa sobre violência escolar no Brasil. **Revista Educação e Pesquisa**, v.27, n.1, p.87-103. Junho 2001.

SCHWARTZ, D.; GORMAN, A. H. Community violence exposure and children's academic functioning. **Journal of Educational Psychology**, v. 95, n. 1, p. 163, 2003.

SHERER, P. P.; SHERER, M. Violence among high school students in Thailand: Cultural perspectives. **International Journal of Intercultural Relations**, v. 35, n. 6, p. 867-880, 2011.

SILVA, C. A. B. **Patrulha Escolar Comunitária da Polícia Militar do Paraná e a Segurança Pública em Escolas Estaduais do Município de Campo Mourão**. 2009. Monografia (Especialização em Formulação e Gestão de Políticas Públicas) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, Paraná, 2009.

SHARMA, D. K.; GHOSH, D.; GAUR, A.. Lexicographic goal programming model for police patrol cars deployment in metropolitan cities. **International journal of information and management sciences**, v. 18, n. 2, p. 173, 2007.

STEFFGEN, Georges; RECCHIA, Sophie; VIECHTBAUER, Wolfgang. The link between school climate and violence in school: A meta-analytic review. **Aggression and violent behavior**, v. 18, n. 2, p. 300-309, 2013.

STECCO, G. CORDEAU, J.; MORETTI, E. A branch-and-cut algorithm for a production scheduling problem with sequence-dependent and time-dependent setup times. **Computers & Operations Research**, v. 35, n. 8, p. 2635-2655, 2008.

SU, Z.; FU, Y.; LIU, Y.. A two-level model for police patrol problem with emergency responses. **ICLEM 2010: Logistics for Sustained Economic Development—Infrastructure, Information, Integration**, p 737-743, 2010.

SUBRAMANIAN, A. ; MEDEIROS, J. M. F. ; CABRAL, L. A. F. ; SOUZA, M. J. F. .
Aplicação da metaheurística busca tabu ao problema de alocação de aulas a salas
em uma instituição universitária. **Revista Produção Online**, v. 11, p. 54- 75, 2011.

SUCUPIRA, I. R. **Métodos heurísticos genéricos: Meta-heurísticas e hiper-
heurísticas**. Monografia. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2004.

SZYMON, J.; DOMINIK, Ż.. Solving Multi-criteria Vehicle Routing Problem by Parallel
Tabu Search on GPU. **Procedia Computer Science**, v. 18, p. 2529-2532, 2013.

TAHA, H. A. **Operations Research: An Introduction** ed.9. - Pearson Prentice Hall,
Upper Saddle River, New Jersey, p. 416, 2011.

TRIAY, J.; CERVELLÓ-PASTOR, C. An ant-based algorithm for distributed routing
and wavelength assignment in dynamic optical networks. Selected Areas in
Communications, **IEEE Journal**, v. 28, n. 4, p. 542-552, 2010.

VAN DER WAL, M. F.; DE WIT, C. A.; HIRASING, R. A. Psychosocial health among
young victims and offenders of direct and indirect bullying. **Pediatrics**, v. 111, n. 6, p.
1312-1317, 2003.

WARSHALL, S.. A theorem on boolean matrices. **Journal of the ACM (JACM)**, v.9,
n.1, p.11-12. 1962

WASEM, O. An algorithm for designing rings for survivable fiber networks.**Reliability,
IEEE Transactions on**, v. 40, n. 4, p. 428-432, 1991.

WOODS, S.; WHITE, E. The association between bullying behaviour, arousal levels
and behaviour problems. **Journal of adolescence**, v. 28, n. 3, p. 381-395, 2005.

WOLFLER CALVO, R.; CORDONE, Roberto. A heuristic approach to the overnight
security service problem. **Computers & Operations Research**, v. 30, n. 9, p. 1269-
1287, 2003.

WOLKE, Dieter et al. Bullying and victimization of primary school children in England
and Germany: Prevalence and school factors. **British Journal of Psychology**, v. 92,
n. 4, p. 673-696, 2001.

ZHANG, H; SUN, G. Optimal reference subset selection for nearest neighbor classification by tabu search. **Pattern Recognition**, v. 35, n. 7, p. 1481-1490, 2002.

ZHANG, Y.; BROWN, D. E. Simulation optimization of police patrol district design using an adjusted simulated annealing approach. In: **Spring Simulation Multi-Conference**. 2014.